corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 12 - 19 novembre 1960 - un fascicolo lire 150 **7°** numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

CIRCUITI ELETTRICI COMPLESSI

Col nome di circuiti complessi abbiamo detto che intendiamo definire quei circuiti che non sono semplici disposizioni di elementi in serie o in parallelo, bensì una combinazione dei due tipi. Tale combinazione può essere la risultante di pochi come di molti elementi variamente disposti e, in quest'ultimo caso le risoluzioni possono diventare alquanto difficili. Procediamo intanto per gradi e torniamo all'esame di un altro circuito misto, dopo quello visto in ultimo alla lezione 16ª. Esso è riportato alla **figura 1A**; occorre determinare a quale valore finale di resistenza esso equivale, e per far ciò questa volta, a differenza del procedimento seguito nell'esempio precedente, analizziamo il circuito, seguendo la corrente nel suo percorso. Questa procedura ci consente di renderci meglio conto del comportamento del circuito stesso e dei suoi elementi in presenza appunto della corrente.

La corrente di linea esce dal terminale negativo della batteria ed arriva al nodo *A* attraverso la resistenza R_1. Da questo punto percorre due strade, una delle quali la riconduce al polo positivo della batteria attraverso R_2. Si noti che la corrente non attraversa R_3 da sinistra a destra poichè, per tornare alla sorgente, essa sceglie la strada di minore resistenza che è il collegamento centrale.

Nel secondo percorso si osserva anzitutto che *B* è allo stesso potenziale relativo di *A*. La corrente si divide in *B*: una parte di essa va attraverso R_3 (da destra a sinistra) e torna alla sorgente per la linea centrale, e l'altra parte, attraverso R_4 torna anch'essa al terminale positivo della batteria.

Con la sezione **B** della figura — che rappresenta lo stesso schema ridisegnato opportunamente — si può determinare rapidamente la resistenza equivalente del circuito, che risulta essere di 9 ohm.

Prima di inoltrarci nell'esame di altri circuiti misti maggiormente complessi, è opportuno vengano nuovamente visti diversi concetti, alcuni dei quali già incontrati e citati, che qui raggruppiamo ed esponiamo ancora: è bene averli presente in quanto su di essi si basa gran parte dell'analisi che segue. Si tratta in sostanza delle leggi di Ohm applicate ai circuiti complessi per poterne effettuare le risoluzioni: tali leggi che si riferiscono tanto alla tensione che alla corrente prendono il nome di **leggi di Kirchoff**.

Le LEGGI di KIRCHHOFF

Se ogni resistenza del circuito della **figura 2** ha il medesimo valore, la tensione di alimentazione si divide in parti eguali tra loro, e la caduta di tensione è di 2 volt ai capi di ognuna di esse. Ciò illustra appunto una delle leggi di G.R. Kirchhoff, un fisico tedesco che applicò, come abbiamo testè detto, i principi della legge di Ohm a circuiti più complessi.

La legge di cui sopra stabilisce che **la somma algebrica delle tensioni presenti ai capi di ogni circuito chiuso, in un circuito complesso, equivale a zero.**

Se iniziamo dal punto *A* della figura 2 e procediamo in senso antiorario, indicando le tensioni con la lettera *E*, ne ricaviamo che:

$$+6 - E1 - E2 - E3 = 0$$

ossia

$$+6 - 2 - 2 - 2 = 0$$

Un'altra delle leggi di Kirchhoff, si riferisce ai circuiti in parallelo e stabilisce che: **la somma di tutte le correnti che scorrono in direzione di un punto d'unione di due circuiti è eguale alla somma delle correnti che ne escono.**

Tale legge è illustrata nel circuito del tipo in parallelo della **figura 3.**

Seguendo il passaggio della corrente che parte dal terminale negativo della batteria, vediamo che essa ammonta complessivamente a 2 ampère; al primo punto d'unione o giunzione, la corrente si divide, e scorre 1 ampère attraverso ognuna delle resistenze. Al lato terminale positivo delle resistenze i due rami si riuniscono e una corrente di 2 ampère è nuovamente quella che va alla sorgente di energia.

Quando la corrente percorre un circuito in serie, la tensione di alimentazione è applicata ad un circolo chiuso, il che si verifica anche per il circuito in parallelo, sebbene, come si vede in figura 3, vi siano tre circoli chiusi in un circuito a due vie. Il primo inizia nel punto *A*, attraversa una resistenza, e ritorna al medesimo punto *A* attraverso la batteria; il secondo è analogo al precedente ma attraversa la seconda resistenza. Poichè infine, la legge di Kirchhoff relativa alla tensione non implica la necessaria presenza della sorgente di energia nel circolo, si può considerare come terzo quello che, partendo dal punto *A*, vi ritorna attraverso la prima resistenza, il punto di unione con la seconda, e attraverso quest'ultima.

Dalla legge di Ohm, ($E = IR$), si deduce che ai

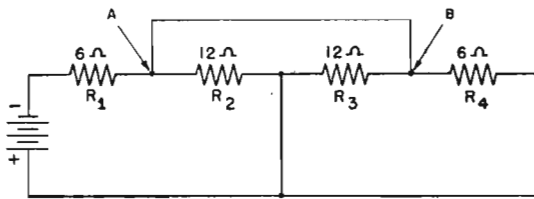



Fig. 1A — Circuito misto. La corrente, per tornare da A alla batteria, percorre due strade: una attraverso R_2 ed una tramite R_3 ed R_4.

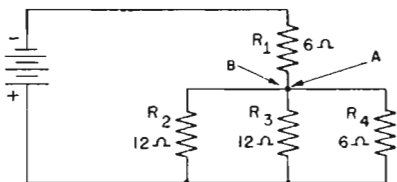



Fig. 1B — Questo circuito equivale a quello di figura 1A. R_2, R_3 ed R_4 in parallelo tra loro formano 3 ohm (12 ohm con 12 ohm = 6 ohm, che con 6 ohm = 3 ohm). R_1, in serie ai 3 ohm, porta a 9 ohm la resistenza totale.

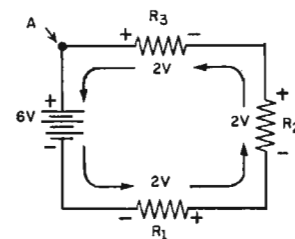



Fig. 2 — Supposto $R_1 = R_2 = R_3$ si hanno eguali cadute di tensione. La somma algebrica delle tensioni di un circuito chiuso equivale sempre a zero, secondo una delle leggi di Kirchhoff.

capi di ognuna delle resistenze vi è una caduta di 6 volt, e, seguendo i primi due circuiti, si applica la legge di Kirchhoff sulla tensione. Vediamo ora se la somma algebrica delle due cadute di tensione del terzo circuito equivale a zero.

Partendo da *A*, attraverso una delle resistenze da 6 ohm, si trova una caduta di tensione di —6 volt. Continuando attraverso la seconda resistenza a destra, si risale la corrente, e quindi la caduta di +6 volt.

$$-6 \text{ volt} + 6 \text{ volt} = 0$$

Anche la legge di Kirchhoff sulla corrente è illustrata dalla figura 3. Si nota infatti che 2 ampère escono dalla sorgente e si suddividono in due strade alla altezza del nodo, in modo che 1 ampère scorre in ognuna; quindi, all'uscita della giunzione, abbiamo la medesima corrente (2 ampère) che avevamo in entrata della stessa, come enunciato sopra dalla legge.

ALTRI CIRCUITI MISTI

Passeremo ora all'esame di altri circuiti misti, e precisamente di quelli che, in pratica, assumono una definita denominazione derivante dalla loro struttura. Essi, per questo fatto, possono essere rapidamente individuati e, se è il caso, analizzati come un tutto a se stante. Nel caso di cui sopra spesso il circuito assume il nome della funzione che generalmente è destinato a svolgere: è così che avremo *divisori di tensione, attenuatori, ponti*, ecc. Occorre avvertire che il nostro esame si riferisce qui sempre a circuiti con soli elementi resistivi, mentre in seguito vedremo anche circuiti assai più complessi, formati da altri componenti oltre che dalle resistenze.

DIVISORI di TENSIONE

Un tipico divisore di tensione, o partitore, può consistere in una serie di resistenze aventi due terminali di entrata, ai quali viene applicata la tensione totale della sorgente, e due o più terminali di uscita, ai capi dei quali si ottiene — così come dice il nome del dispositivo — la frazione desiderata della tensione totale stessa.

I divisori di tensione vengono frequentemente usati all'uscita degli alimentatori allo scopo di disporre di varie tensioni; i valori di resistenza da impiegare vengono determinati mediante l'applicazione delle leggi di Ohm e di Kirchhoff.

La **figura 4** illustra un esempio di partitore, collegato ai capi di una sorgente di tensione di 270 volt. Come si vede, esso alimenta contemporaneamente tre circuiti di carico, e precisamente 10 mA con 90 volt tra i terminali 1 e quello di massa; 5 mA con 150 volt tra il terminale 2 e massa; 30 mA con 180 volt tra il terminale 3 e massa. La corrente che percorre la resistenza *A* è di 15 mA. Ecco come possiamo determinare la corrente, la tensione la resistenza e la potenza relative alle quattro resistenze.

Dall'applicazione della legge di Kirchhoff al terminale 1 si ricava che la corrente nella resistenza *B* equivale alla somma della corrente presente nella resistenza *A* (15 mA) con quella di 10 mA che scorre attraverso il carico di 90 volt, per cui:

$$I_b = 15 + 10 = 25 \text{ milliampère}$$

Analogamente:

$$I_c = 25 + 5 = 30 \text{ milliampère}$$

e:

$$I_d = 30 + 30 = 60 \text{ milliampère}$$

La legge di Kirchhoff indica che la tensione ai capi della resistenza *A* è di 90 volt; la tensione ai capi di *B* è invece:

$$E_b = 150 - 90 = 60 \text{ volt}$$

La tensione ai capi di *C* è:

$$E_c = 180 - 150 = 30 \text{ volt},$$

e la tensione ai capi di *D* è:

$$E_d = 270 - 180 = 90 \text{ volt}.$$

Prima di calcolare i valori delle varie resistenze è necessario ricordare ancora che nella nota formula della legge di Ohm, $R = E{:}I$, R indica la resistenza in ohm se E indica la tensione in volt ed I la corrente in ampère. In molti circuiti elettronici — e particolarmente in quelli in questione — è molto più semplice considerare R in migliaia di ohm (kohm), E in volt, ed I in milliampère, per cui nelle formule seguenti osserveremo tale convenzione.

Applicando la legge di Ohm per determinare le resistenze, si ha:

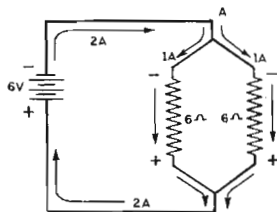
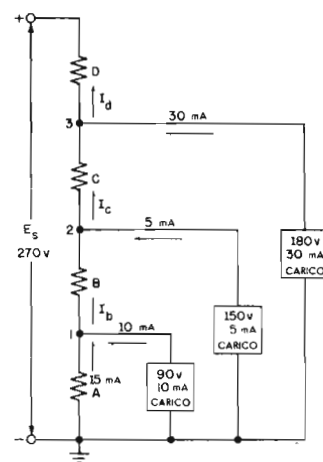



Fig. 3 — Questa figura, oltre alla già citata legge di Kirchhoff sulla tensione, illustra una seconda legge dello stesso nome, quella relativa alle correnti: la somma delle correnti che entrano in A è eguale alla somma delle correnti che escono da B.

Fig. 4 — Esempio di partitore che alimenta contemporaneamente tre circuiti. Con le leggi di Kirchhoff e di Ohm, si possono determinare: la corrente, la tensione, la resistenza e la potenza relative alle 4 resistenze del partitore stesso.

La resistenza di A è: $R_a = \frac{E_a}{I_a} = \frac{90}{15} = 6$ kohm

La resistenza di B è: $R_b = \frac{E_b}{I_b} = \frac{60}{25} = 2{,}5$ kohm

La resistenza di C è: $R_c = \frac{E_c}{I_c} = \frac{30}{30} = 1$ kohm

La resistenza di D è: $R_d = \frac{E_d}{I_d} = \frac{90}{60} = 1{,}5$ kohm

Tornando ora a considerare I in ampère:

la potenza dissipata dalla

resistenza A è: $P_a = E_a I_a = 90 \times 0{,}015 = 1{,}35$ watt

resistenza B è: $P_b = E_b I_b = 60 \times 0{,}025 = 1{,}50$ watt

resistenza C è: $P_c = E_c I_c = 30 \times 0{,}030 = 0{,}90$ watt

resistenza D è: $P_d = E_d I_d = 90 \times 0{,}060 = 5{,}40$ watt

La potenza dissipata dal carico collegato al

terminale 1 è: $P_1 = E_1 I_1 = 90 \times 0{,}010 = 0{,}90$ watt

terminale 2 è: $P_2 = E_2 I_2 = 150 \times 0{,}005 = 0{,}75$ watt

terminale 3 è: $P_3 = E_3 I_3 = 180 \times 0{,}030 = 5{,}4$ watt

La potenza totale dissipata dai tre circuiti di carico è

$$0{,}90 + 0{,}75 + 5{,}4 = 7{,}05 \text{ watt}$$

La potenza totale fornita all'interno circuito comprendente il partitore ed i tre carichi è:

$$9{,}15 + 7{,}05 = 16{,}2 \text{ watt}$$

Tale valore può essere controllato come segue:

$$P_T = E \times I_T = 270 \times 0{,}060 = 16{,}2 \text{ watt}$$

Nella **figura** 5 le resistenze del divisore di tensione sono note e si deve invece calcolare la corrente che scorre in R_5. La corrente di carico attraverso R_1 è di 6 mA, la corrente attraverso R_2 è di 4 mA, e la corrente attraverso R_3 è di 10 mA; la tensione totale di alimentazione ammonta a 510 volt.

La legge di Kirchhoff sulla corrente può essere applicata alle giunzioni *a*, *b*, *c*, e *d* onde determinare le equazioni necessarie per esprimere la corrente che scorre attraverso R_4, R_5, R_6 ed R_7. Analogamente, la corrente che scorre attraverso R_4 è data da $I + 6 + 4 + 10$ ossia $I + 20$; la corrente che scorre attraverso R_5 è I la corrente che scorre attraverso R_6 è $I + 6$ e la corrente che scorre attraverso R_7 è $I + 6 + 4$, ossia $I + 10$.

La tensione presente ai capi di R_4 può essere espressa in funzione della resistenza in kohm e della corrente in mA, ossia 5 $(I + 20)$ volt. Analogamente, la tensione presente ai capi di R_5 equivale a $25 \times I$; la tensione presente ai capi di R_6 è 10 $(I + 6)$ e la tensione presente ai capi di R_7 è 10 $(I + 10)$.

La legge di Kirchhoff sulla tensione può essere applicata al partitore di tensione per risolvere rispetto alla corrente incognita I esprimendo la tensione della sorgente in funzione dei valori dati di tensione, di resistenza e di corrente (sia dei valori noti che di quelli incogniti). La somma delle tensioni presenti ai capi di R_4, R_5, R_6 ed R_7 equivale alla tensione totale, ossia:

$$E_4 + E_5 + E_6 + E_7 = E_S$$

$$5\ (I + 20) + 25\ I + 10\ (I + 6) + 10\ (I + 10) = 510$$

$$50\ (I) = 250$$

$$I = 5 \text{ milliampère}$$

La corrente di 5 mA che scorre attraverso R_5 produce ai suoi capi una caduta di tensione pari a 5×25, ossia 125 volt. Dal momento che R_1 è in parallelo ad R_5, anche la tensione presente ai capi di R_1 è di 125 volt. La corrente che percorre R_4 è pari a $5 + 20$ ossia 25 mA, e la caduta di tensione corrispondente è pari a 5×25, cioè 125 volt. Dal momento che il punto *d* è a potenziale di massa, il punto *c* è di 125 volt positivo rispetto a *d*, mentre il punto *e* è di 125 volt negativo rispetto al medesimo punto. La corrente che percorre R_6 ammonta a $5 + 6$ ossia a 11 mA, e la caduta di tensione presente ai suoi capi è di 11×10, vale a dire 110 volt. La corrente che percorre R_7 è pari a $5 + 10$ (15 mA) e la relativa caduta di tensione è pari a 15×10, ossia 150 volt. Per concludere, la tensione totale equivale alla somma delle tensioni presenti ai capi dei vari tratti del partitore, per cui:

$$125 + 125 + 110 + 150 = 510 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da ogni resistenza di tale partitore può essere calcolata moltiplicando la tensione presente ai capi di ogni resistenza per la corrente che la percorre; se la corrente è espressa in ampère, e la f.e.m. in volt, la potenza risulterà espressa in watt, per cui la potenza dissipata da R_4 sarà:

$$P_4 = E_4 \times I_4 = 125 \times 0{,}025 = 3{,}125 \text{ watt}$$

Analogamente, la potenza dissipata da R_5 è:

$$125 \times 0{,}005 = 0{,}625 \text{ watt}$$

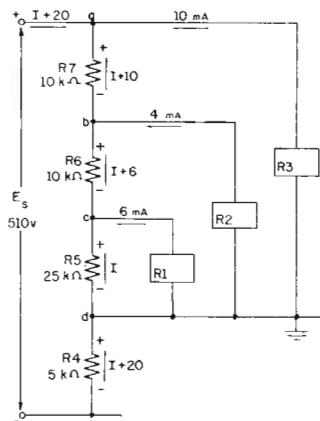



Fig. 5 — In questo partitore, noto il valore delle resistenze e della corrente dei 3 carichi, si deve calcolare la corrente che scorre in R_5. Si applicherà la legge di Kirchhoff sulla corrente per trovare i valori di corrente di R_1, R_5, R_6, ed R_7. Si può applicare anche la legge di Kirchhoff sulla tensione per risolvere rispetto alla corrente incognita I. Si noti che, rispetto al punto comune dei tre carichi (massa), si ha a disposizione in e, una tensione negativa

quella dissipata da R_6 è:

$$110 \times 0{,}011 = 1{,}21 \text{ watt}$$

ed infine, quella dissipata da R_7 è:

$$150 \times 0{,}015 = 2{,}25 \text{ watt}$$

La potenza totale dissipata dall'intero partitore è:

$$3{,}125 + 0{,}625 + 1{,}21 + 2{,}25 = 7{,}21 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_1 è la tensione presente ai capi di R_5, ossia 125 volt. La potenza dissipata da R_1 è:

$$P_1 = E_1 \times I_1 = 125 \times 0{,}006 = 0{,}750 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_2 è eguale alla somma delle tensioni presenti ai capi di R_5 ed R_6, ossia:

$$E_2 = E_5 + E_6 = 125 + 110 = 235 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da R_2 è:

$$P_2 = E_2 \times I_2 = 235 \times 0{,}004 = 0{,}940 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_3 è eguale alla somma delle tensioni presenti ai capi di R_5, R_6, R_7, ossia:

$$E_3 = E_5 + E_6 + E_7 = 125 + 110 + 150 = 385 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da R_3 è:

$$P_3 = E_3 \times I_3 = 385 \times 0{,}010 = 3{,}85 \text{ watt}$$

e la potenza totale dissipata dai tre carichi è:

$$0{,}75 + 0{,}94 + 3{,}85 = 5{,}54 \text{ watt}$$

La potenza totale fornita dalla sorgente corrisponde alla somma delle potenze totali assorbite dal divisore e dai tre carichi, ossia

$$7{,}21 + 5{,}54 = 12{,}75 \text{ watt}$$

Tale risultato può essere verificato nel modo seguente:

$$P_T = E_T I_T = 510 \times 0{,}025 = 12{,}75 \text{ watt}$$

Il valore delle resistenze di carico R_1, R_2 ed R_3 può essere determinato mediante la legge di Ohm, nel modo seguente:

$$R_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{125}{6} = 20{,}83 \text{ kohm}$$

$$R_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{235}{4} = 58{,}75 \text{ kohm}$$

$$R_3 = \frac{E_3}{I_3} = \frac{385}{10} = 38{,}5 \text{ kohm}$$

ATTENUATORI

Gli attenuatori sono dispositivi costituiti da resistenze, con il compito di ridurre (attenuare) la tensione, la corrente o la potenza fornita ad un carico. I due tipi di attenuatori più comuni sono quelli denominati ad « L » ed a « T »: essi sono rappresentati rispettivamente dalla **figura 6-A** e **6-B**.

Se un tale dispositivo è regolabile — come è nel nostro caso — viene detto appunto attenuatore; se invece è fisso, prende più correntemente il nome di «riduttore» (in inglese « pad »).

Il tipo ad « L » mantiene costante la resistenza ai capi di **una** coppia di terminali, per qualsiasi posizione delle resistenze variabili: ad esempio, nella sezione *A* della figura, la resistenza offerta dal carico e dall'attenuatore ai terminali *a b* rimane costante per qualsiasi posizione delle resistenze variabili R_1 ed R_2.

In questo caso, tenendo presente che R_S non è un componente effettivo dell'attenuatore, bensì rappresenta simbolicamente la resistenza interna della batteria, la resistenza offerta al passaggio della corrente misurata tra punto *a* ed il punto *b*, comprende R_S ed R_1 in serie tra loro, ed a loro volta in parallelo alla combinazione del carico in parallelo ad R_2. In detto circuito R_S è eguale ad R_L, e

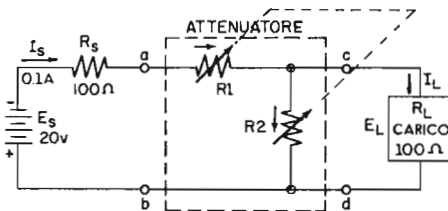
$$R_S = R_1 + \frac{R_2 \times R_L}{R_2 + R_L}$$

La resistenza offerta al passaggio della corrente dal terminale *c* al terminale *d* comprende R_2 in parallelo alla combinazione in serie di R_1 ed R_S, ed R_L.

L'attenuatore ad « L » funziona correttamente soltanto se il carico è collegato ai terminali *c* e *d*, e la sorgente ai terminali *a* e *b*. Ne consegue che il carico e la sorgente non sono intercambiabili in quanto R_L non è eguale a

$$\frac{R_2 \, (R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_S}$$

La sezione *B* della figura illustra, come si è detto, un attenuatore del tipo a « T ». Esso mantiene la resistenza costante ad **entrambe** le coppie di terminali, per qualsiasi posizione delle resistenze variabili. Come si può notare osservando la figura, in questo tipo è necessario

Fig. 6A — Attenuatore ad « L ». La sua caratteristica è di mantenere costante il valore della resistenza ai capi di una coppia di terminali, e precisamente ai capi a e b, qualunque sia la regolazione di R_1 ed R_2. Carico e sorgente non possono essere invertiti tra loro.

l'impiego di un'altra resistenza variabile per cui il circuito è più complesso di quello dell'attenuatore ad « L ».

La resistenza offerta al passaggio della corrente tra i punti *a* e *b* comprende R_S ed R_1 in serie tra loro ed a loro volta in parallelo alla combinazione (anch'essa in parallelo) costituita da due rami, di cui uno è rappresentato da R_2, e l'altro da R_3 in serie ad R_L. In questo circuito si ha che:

$$R_S = R_1 + \frac{R_2\ (R_3 + R_L)}{R_2 + R_3 + R_L}$$

La resistenza offerta al passaggio della corrente tra i terminali *e* ed *f* comprende R_3 in serie alla combinazione parallela i cui rami sono R_2 da un lato, ed R_1 in serie ad R_S ed R_L dall'altro, per cui si ha:

$$R_L = R_3 + \frac{R_2\ (R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_S}$$

Dal momento che $R_S = R_L$ e che $R_1 = R_3$, il carico e la sorgente sono intercambiabili senza che tale mutamento alteri il funzionamento dell'attenuatore a « T ». Come si è detto, la resistenza presente tra i terminali *a* e *b* è eguale a quella presente tra i terminali *e* ed *f*.

Esistono altri tipi di attenuatori più complessi, come ad esempio il tipo detto a « scala » in quanto in effetti richiama alla memoria proprio l'idea della scala a pioli; l'attenuatore « ponte a T », nel quale due resistenze che costituiscono la parte superiore della lettera T sono in parallelo ad un'altra resistenza, ed infine gli attenuatori « a decadi », nei quali la sistemazione delle resistenze componenti è realizzata in modo tale che la tensione o la corrente della sorgente può essere ridotta o attenuata di frazioni decimali del valore massimo.

Spesso — ed in modo speciale nei circuiti degli apparecchi professionali per radiocomunicazioni — è necessario attenuare una tensione applicata ad un carico onde attenuare di conseguenza il segnale, pur lasciando inalterata la quantità di corrente prelevata dalla sorgente prima che la tensione venisse attenuata. In tal modo il carico applicato a detta sorgente resta costante, e le caratteristiche del circuito restano eguali pur riducendo l'ampiezza del segnale inoltrato al resto del circuito. L'attenuatore del tipo ad « L » è il più semplice col quale sia possibile ottenere quanto sopra.

L'Attenuatore ad « L »

Nell'attenuatore ad « L », illustrato nella sezione A della figura 6; le due caratteristiche essenziali sono la possibilità di variare la tensione applicata al carico, e quella di mantenere costante la quantità di corrente che scorre attraverso la sorgente nonostante le variazioni della tensione di uscita.

Nell'esempio della figura, la resistenza' della sorgente ammonta a 100 ohm, la resistenza di carico è pure di 100 ohm, e la tensione da essa erogata è di 20 volt. Prima che l'attenuatore venga inserito, la corrente fornita al carico è pari a:

$$I_S = \frac{E_S}{R_L + R_S} = \frac{20}{100 + 100} = 0{,}1 \text{ ampère}$$

In questo caso, la tensione applicata al carico è pari a $E_L = I_S R_L = 0{,}1 \times 100 = 10$ volt. La caduta di tensione nella sorgente stessa è 20-10=10 volt, il che equivale ad una corrente di 0,1 ampère che scorre attraverso la resistenza interna di 100 ohm.

Per ridurre a 5 volt la tensione presente ai capi di R_L nella sezione *A* della figura — mantenendo la corrente circolante nella sorgente sempre alla intensità di 0,1 ampère — vengono inserite R_1 ed R_2.

La corrente (I_L) che percorre R_L è:

$$I_L = \frac{E_L}{R_L} = \frac{5}{100} = 0{,}05 \text{ ampère}$$

La corrente che percorre R_1 è di 0,1 ampère, in quanto tale resistenza è in serie alla sorgente, e la caduta di tensione ai suoi capi è la differenza tra la tensione massima di origine e la somma delle cadute di tensione presenti nella sorgente stessa ed ai capi del carico, ossia 20 — (10+5)=5 volt. La resistenza di R_1 è 5:0,1=50 ohm.

La corrente che passa attraverso R_2 è la differenza tra la corrente della sorgente, ossia 0,1 ampère, e la corrente che passa attraverso il carico (0,05 ampère), quindi ha una intensità pari a 0,05 ampère. La tensione presente ai suoi capi ammonta a 5 volt in quanto essa è in parallelo al carico. Il valore ohmico di R_2 è pari a 5:0,05= 100 ohm. Ne consegue che, inserendo una resistenza di 50 ohm in serie alla sorgente, ed una di 100 ohm in parallelo al carico, la tensione presente ai capi di quest'ultimo viene

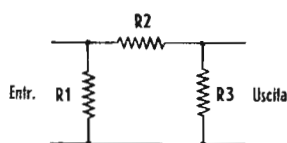



Fig. 6A bis — Attenuatore a « pi greco », detto simmetrico quando $R_1 = R_3$.

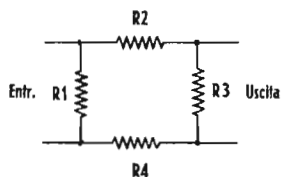



Fig. 6A ter — Attenuatore ad « O », detto simmetrico quando $R_1 = R_3$ ed $R_2 = R_4$.

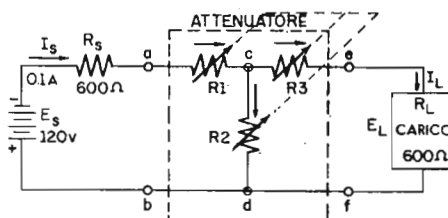



Fig. 6B — Attenuatore a « T ». Offre la caratteristica di mantenere costante ed eguale il valore di resistenza ai capi di entrambe le coppie dei terminali (a - b ed e - f) per qualunque posizione delle resistenze variabili. Carico e sorgente sono tra loro intercambiabili.

ridotta a 5 volt, mentre la corrente totale che circola resta sempre di 0,1 ampère.

In tal modo, mentre la tensione di segnale applicata al carico viene ridotta alla metà del suo valore iniziale, il carico applicato alla sorgente rimane costante.

Il valore totale delle due resistenze in parallelo R_2 ed R_L ammonta a 50 ohm, e il valore totale della resistenza R_1 in serie alla combinazione in parallelo, ammonta a $50+50=100$ ohm. Si conferma perciò che dopo l'inserimento di R_1 ed R_2, la resistenza applicata alla sorgente resta la medesima, ossia che il carico applicato è costante.

L'Attenuatore a « T »

Nell'attenuatore a « T » illustrato nella sezione *B* della figura 6, abbiamo, nell'esempio, $R_S=600$ ohm, ed una tensione della sorgente di 120 volt. Nel nostro caso, inoltre, l'attenuatore ha caratteristiche tali da ridurre la tensione applicata al carico alla metà del suo valore originale. Il problema consiste nel calcolare i valori corrispondenti di R_1, R_2 ed R_3.

Prima che l'attenuatore venga inserito, la corrente del carico equivale a $120 : (600 + 600) = 0{,}1$ ampère, e la tensione corrispondente del carico E_L ammonta a $0{,}1 \times 600 = 60$ volt.

Il compito dell'attenuatore consiste nel ridurre tale tensione alla metà, ossia a 30 volt.

La corrente circolante nel carico, con una tensione di 30 volt, sarebbe $30 : 600 = 0{,}05$ ampère. Dal momento che la corrente totale deve mantenere il suo valore di 0,1 ampère, la corrente che percorre R_2 deve essere pari a $0{,}1 - 0{,}05 = 0{,}05$ ampère.

La somma algebrica delle tensioni presenti ai capi del circuito ***dcefd*** è eguale a zero, ed esse possono essere espresse in funzione di corrente, resistenza e tensione, come segue:

$$+0{,}05\,R_2 - 0{,}05\,R_3 - 30 = 0$$

e, dal momento che $R_3 = R_1$

$$0{,}05\,R_2 - 0{,}05\,R_1 = 30$$

La somma algebrica delle tensioni presenti ai capi del circuito ***bacdb*** equivale a zero. Per cui:

$$120 - 0{,}1 \times 600 - 0{,}1\,R_1 - 0{,}05\,R_2 = 0$$

$$0{,}05\,R_2 + 0{,}1\,R_1 = 60$$

Sottraendo la prima equazione dalla seconda, e risolvendo rispetto ad R_1, si ha:

$$\begin{array}{rcl} 0{,}05\,R_2 + 0{,}10\,R_1 & = & 60 \\ -0{,}05\,R_2 + 0{,}05\,R_1 & = & -30 \\ \hline 0 \quad +0{,}15\,R_1 & = & 30 \end{array}$$

da cui:

$$R_1 = \frac{30}{0{,}015} = 200 \text{ ohm} = R_3$$

Sostituendo il valore di R_1 nella prima equazione, si ha:

$$0{,}05\,R_2 - 0{,}05\,(200) = 30$$

$$0{,}05\,R_2 = 40$$

da cui:

$$R_2 = 800 \text{ ohm}$$

La resistenza opposta al passaggio della corrente tra i terminali *a* e *b* comprende la resistenza di 600 ohm della sorgente, e la resistenza dell'attenuatore R_{ab}

$$R_{ab} = R_1 + \frac{R_2\,(R_3 + R_L)}{R_2 + R_3 + R_L}$$

$$= 200 + \frac{800\,(200+600)}{800+200+600}$$

$$= 200 + 400 = 600 \text{ ohm}$$

La resistenza opposta al passaggio della corrente tra i terminali *e* ed *f* comprende la resistenza di 600 ohm del carico, e la resistenza dell'attenuato R_{ef}

$$R_{ef} = R_3 + \frac{R_3\,(R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_S}$$

$$= 200 + \frac{800\,(200+600)}{800+200+600}$$

$$= 200 + 400 = 600 \text{ ohm}$$

Per cui $R_{ef} = R_{ab}$ e sia il carico che la sorgente trovano nell'attenuatore la medesima impedenza.

La corrente I_S della sorgente è:

$$\frac{E_S}{R_S + R_{ab}} = \frac{120}{600+600} = 0{,}1 \text{ ampère}$$

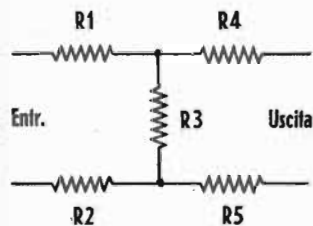
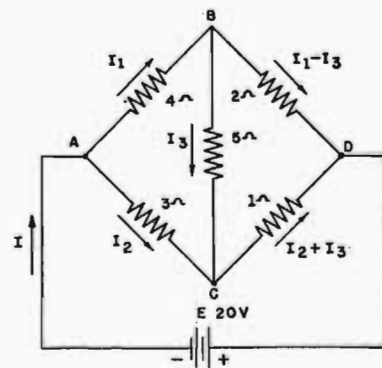



Fig. 6B bis — Attenuatore ad « H »: è un'elaborazione del tipo a « T ». In esso, se necessita la simmetria, $R_1 = R_2 = R_4 = R_5$ e tutte corrispondono a metà valore di $R_1 — R_3$ di figura 6B.

Fig. 7 — Circuito classico a ponte. Applicando la legge di Kirchhoff si possono determinare i valori di E, I o P.

La tensione di ingresso E_{ab} all'attenuatore è:

$$I_S R_{ab} = 0,1 \times 600 = 60 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_1 è:

$$I_S R_1 = 0,1 \times 200 = 20 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_2 è:

$$I_2 R_2 = 0,05 \times 800 = 40 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_3 è:

$$I_3 R_3 = 0,05 \times 200 = 10 \text{ volt}$$

Per cui la tensione ai capi del carico ammonta a:

$$40 — 10 = 30 \text{ volt}$$

CIRCUITI a PONTE

Un classico circuito a ponte è rappresentato dalla **figura 7.** In esso, evidentemente, abbiamo, per la corrente, più di un percorso. Infatti, la corrente di linea — contrassegnata I — quando incontra un nodo si divide nei diversi rami e si hanno di conseguenza I_1, I_2, ecc. È importante notare che alla giunzione A, la corrente I è eguale ad $I_1 + I_2$.

Vedremo presto — nel capitolo seguente e, in modo particolare alla lezione 21ª — come un circuito a ponte, noto col nome di Ponte di Wheatstone, possa rendersi molto utile col suo comportamento, per la definizione del valore incognito di resistenze.

Per un esame del circuito di figura 7, il numero delle correnti conosciute può essere ridotto assegnando una sigla a tutte le correnti che **entrano** in un nodo, ed esprimendo quelle che ne **escono** sotto forma di funzione delle precedenti. Un esempio di ciò è visibile nel punto C del circuito. La corrente che passa attraverso la resistenza di 1 ohm non è che la somma di $I_2 + I_3$, per cui non è necessario stabilire anche la sigla I_4.

Usando la legge di Kirchhoff, si possono scrivere tante equazioni quante sono le incognite da determinare. Ogni ramo utilizzato per stabilire una equazione, deve comprendere componenti non compresi in altri rami; ogni equazione contiene perciò rapporti che non vengono espressi nelle altre. Tali equazioni sono contemporaneamente esatte, e possono essere raggruppate in un sistema onde ricavare i valori sconosciuti di corrente.

Volendo determinare le correnti di tale ponte con l'impiego della sola legge di Ohm, si incontrerebbero notevoli difficoltà, ma — come vedremo — si può facilmente determinare qualsiasi valore di E, I o P applicando la legge di Kirchhoff.

Supponendo una data direzione della corrente in ogni ramo, la si indica con frecce. Per mantenere minimo il numero delle correnti ignote, si considera che I, nel punto A, si divide in I_1 ed I_2. La prima scorre verso il punto B, e la seconda verso il punto C.

La corrente presente nel tratto BC viene denominata I_3, mentre quella presente nel tratto BD viene determinata in funzione di I_1 e I_3, ossia come $I_1 — I_3$.

Come mezzo di controllo, si può applicare la legge di Kirchhoff sulla corrente al punto D, come segue:

$$(I — I_3) + (I_2 + I_3) = I_1 + I_2$$

il che equivale alla corrente I_T che esce dal terminale della batteria.

Supponiamo di dover trovare la quantità e la direzione della corrente nel tratto BC di 5 ohm. Si applica la legge di Kirchhoff sulla tensione all'intero circuito, e si allestisce un numero di equazioni sufficiente per includere tutte le correnti incognite.

Se si procede nella direzione presunta della corrente, ogni resistenza causa una caduta di tensione ed è negativa; ogni sorgente di tensione è positiva se favorisce il passaggio di corrente, e negativa se vi si oppone.

Se invece si opera in senso contrario alla direzione presunta, la caduta di tensione ai capi di una resistenza è positiva.

Facciamo seguire ora un esempio di soluzione relativa ad un sistema di equazioni, nelle quali i valori ohmici riportati sono appunto quelli indicati nello schema di figura 7.

Allestire le seguenti equazioni:

Circuito *ABDEA*: $— 4I_1 — 2 (I_1 — I_3) + 20 = 0$

Semplificando: $— 4I_1 — 2I_1 + 2I_3 + 20 = 0$

(*Equazione* 1) $— 6I_1 + 2I_3 + 20 = 0$

Circuito *ACDEA*: $— 3I_2 — 1 (I_2 + I_3) + 20 = 0$

Semplificando: $— 3I_2 — I_2 — I_3 + 20 = 0$

(*Equazione* 2) $— 4I_2 — I_3 + 20 = 0$

Circuito *ABCA*:

(*Equazione* 3) $— 4I_1 — 5I_3 + 3I_2 = 0$

Fatto ciò, eliminare I_1 dalle equazioni 1 e 3 come segue:

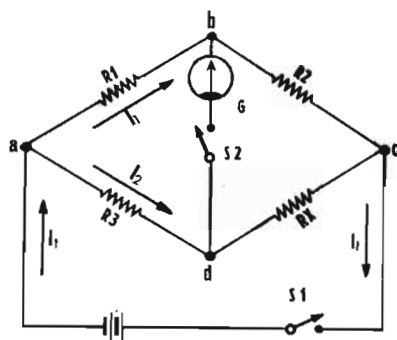



Fig. 8 — Applicazione pratica del circuito a ponte (Ponte di Wheatstone) per la ricerca del valore di una resistenza, R_x. Se R_1, R_2 ed R_3 sono scelte in modo che lo strumento indicatore G non defletta, in quel momento R_x sarà eguale a $(R_2 \times R_3) : R_1$.

Moltiplicare per il numero « 2 » l'equazione 1 . . . . $-12I_1 + 4I_3 + 40 = 0$

Moltiplicare per il numero « 3 » l'equazione 3 e sottrarre (cambiando quindi tutti i segni) . . . . $+12I_1 + 15I_3 - 9I_2 = 0$

(*Equazione* 4) $19I_3 - 9I_2 + 40 = 0$

Eliminare I_3 dalle equazioni 2 e 4 come segue:

Moltiplicare per il numero « 19 » l'equazione 2 . . . $-76I_2 - 19I_3 + 380 = 0$

Aggiungere l'equazione 4 . $-9I_2 + 19I_3 + 40 = 0$

$$-85I_2 + 420 = 0$$

$$-85I_2 = -420$$

$$I_2 = \frac{420}{85} = 4{,}941 \text{ ampère}$$

Sostituire I_2 nell'equazione 2

$$-4\,(4{,}94) - I_3 + 20 = 0$$

$$-19{,}76 - I_3 + 20 = 0$$

$$-I_3 = 19{,}76 - 20$$

$$I_3 = 0{,}236 \text{ ampère}$$

Sostituire I_3 nell'equazione 1

$$-6I_1 + 2\,(0{,}236) + 20 = 0$$

$$-6I_1 + 0{,}472 + 20 = 0$$

$$-6I_1 = -20{,}472$$

$$I_1 = 3{,}412 \text{ ampère}$$

Sostituire tutti i valori noti nell'equazione 3 . . . . $-4\,(3{,}412) - 5\,(0{,}236) + 3\,(4{,}94) = 0$

$$-13{,}648 - 1{,}18 + 14{,}82 = 0$$

In ultimo, dopo aver trovato i valori di I_1, I_2 ed I_3, ci siamo assicurati che fossero esatti mediante l'ultima sostituzione. La corrente I_3 che scorre attraverso la resistenza di 5 ohm è di 0,236 ampère e la direzione presunta è esatta perchè il valore risultante è positivo.

Dal momento che nel punto A abbiamo

$$I_T = I_1 + I_2 \quad \text{e} \quad I_T = 8{,}353 \text{ ampère}$$

si ha che:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} \qquad R = \frac{20}{8{,}353} = 2{,}39 \text{ ohm approssimativamente.}$$

IL PONTE di WHEATSTONE

Poichè nella lezione che segue viene descritto un circuito a ponte nella sua applicazione pratica come circuito per la misura di resistenze (il ponte di Wheatstone al quale si è già fatto cenno), anticipiamo qui un breve esame del circuito stesso, al fine di rendere più completa l'analisi e quindi più facile la padronanza dell'apparecchiatura di misura.

Quando l'interruttore S_1 della batteria è chiuso (**figura 8**), gli elettroni fluiscono dal terminale negativo della batteria al punto a. Qui la corrente si divide, come accade per qualsiasi coppia di circuiti in parallelo; una parte di essa passa attraverso R_1 ed R_2 e la parte rimanente passa attraverso R_3 ed R_x. Le due correnti, segnate I_1 ed I_2, si congiungono nel punto c e ritornano al terminale positivo della batteria. Il valore di I_1 dipende dalla somma delle resistenze R_1 ed R_2, ed il valore di I_2 dipende dalla somma delle resistenze R_3 ed R_x. In ogni caso, in accordo con la legge di Ohm, la corrente è inversamente proporzionale alla resistenza.

R_1, R_2 ed R_3 sono scelte in modo che, allorchè l'interruttore S_2 del galvanometro è chiuso, non si verifica alcuna deflessione dell'indice dello stesso. Quando il galvanometro non deflette, vuol dire che non vi è differenza di potenziale tra i punti b e d, il che significa anche che la caduta di tensione (E_1) ai capi di R_1 (tra i punti a e b) è pari alla caduta (E_3) ai capi di R_3 (tra i punti a e d). Per analogo ragionamento, le cadute di tensione ai capi di R_2 e di R_x, cioè E_2 ed E_x, sono eguali. Possiamo esprimere ciò algebricamente:

$$E_1 = E_3 \text{ oppure } I_1R_1 = I_2R_3;$$

ed: $$E_2 = E_x \text{ oppure } I_1R_2 = I_2R_x.$$

Dividiamo la caduta di tensione ai capi di R_1 e di R_3 per le rispettive cadute ai capi di R_2 ed R_x:

$$\frac{I_1R_1}{I_1R_2} = \frac{I_2R_3}{I_2R_x} \text{ semplificando: } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \text{ Quindi: } R_x = \frac{R_2R_3}{R_1}$$

I valori di resistenza di R_1, R_2 ed R_3 sono prontamente individuabili dalla indicazione relativa che appare sulle resistenze campione che solitamente si adoperano per realizzare questo tipo di ponte, o sono leggibili su scale tarate se si tratta di ponti con ampia portata di valori di lettura e commutatori per il cambio dei valori campione.

MISURE della CORRENTE CONTINUA

AUMENTO della PORTATA di uno STRUMENTO

Gli strumenti usati correntemente in elettronica possono essere in grado di misurare tensioni continue da un minimo di una frazione di volt, ad un massimo di 1500 volt o più, e correnti continue da un minimo di una frazione di milliampère ad un massimo di 10 ampère e oltre; essi si prestano inoltre alla misura delle resistenze con diverse portate.

In linea di massima possono essere attuate varie modifiche al circuito di uno strumento allo scopo di adattarlo alle diverse portate, in modo da disporre così di uno strumento d'uso cosiddetto universale, a meno che non sia necessario, per determinate ragioni, usare un singolo strumento per ogni portata.

Se si tenta di misurare una corrente maggiore della sensibilità massima dello strumento di cui si dispone, accade che esso, ovviamente, viene percorso da una corrente eccessiva col pericolo di gravi danni, in quanto nella bobina scorre una corrente superiore alla massima della sua portata: l'indice oltrepassa il fondo scala colpendo la molletta di fermo a destra, e tutto questo può causare la flessione dell'indice stesso, o la interruzione della bobina, o entrambi gli inconvenienti. Ad esempio, supponiamo che uno strumento da 1 mA con resistenza interna di 27 ohm sia collegato in parallelo ad una sorgente di 1 volt: in questo caso perciò 1 solo milliampère è sufficiente e necessario per la completa deviazione dell'indice su tutta la scala.

Secondo la legge di Ohm, la corrente che scorre in tale circuito è:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{1}{27} = 0{,}037 \text{ ampère, ossia 37 milliampère}$$

per cui 37 mA scorrono in uno strumento nel quale basta 1 mA per provocare la completa deflessione dell'indice.

Il circuito esterno di uno strumento deve essere modificato prima che lo strumento venga usato per misurare le varie correnti e tensioni di uso normale. Mentre per usare lo strumento *come voltmetro gli si aggiunge una resistenza di valore alto* (resistenza addizionale) *in serie* — allo scopo di ridurre la corrente ad un valore che possa essere sopportato sebbene lo strumento venga collegato ad una sorgente di tensione alta — per usarlo *come amperometro, gli si aggiunge una resistenza di valore basso in parallelo,* allo scopo di fornire alla corrente una seconda strada da percorrere. In quest'ultimo caso la corrente si distribuisce parte nello strumento e parte nella resistenza in parallelo, e la prima viene contenuta entro i limiti dello strumento stesso.

Riassumendo, le regole per modificare il circuito esterno sono le seguenti:

1) per l'uso come voltmetro, collegare un'alta resistenza in serie alla bobina mobile.

2) per l'uso come amperometro, collegare in parallelo una bassa resistenza.

Vediamo ora dettagliatamente come si procede per il calcolo delle resistenze aggiuntive, siano esse da porsi in serie che in parallelo, in relazione allo strumento disponibile.

VOLTMETRO TIPICO

Calcolo della resistenza addizionale mediante la legge di Ohm

Per trovare il valore della resistenza in serie occorrente per misurare una data tensione, è necessario conoscere la portata dello strumento, la sua resistenza interna, ed il valore della tensione da misurare, dopo di che è possibile effettuare il calcolo mediante la legge di Ohm.

Si desidera, ad esempio, usare uno strumento da 1 mA f. s. (fondo scala), che ha una resistenza interna di 27 ohm, per misurare una tensione di 10 volt f.s. (vedi **figura 1**).

Sappiamo dunque che la corrente massima che lo strumento può sopportare è di 1 mA, e, poichè i valori di tensione (10 volt), e di corrente (1 mA), sono anch'essi noti, l'intera resistenza del circuito dello strumento deve essere:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{10}{0{,}001} = 10.000 \text{ ohm}$$

Quando la resistenza in serie è molto alta in confronto a quella interna dello strumento, non è necessario detrarre il valore di quest'ultima dal valore occorrente della resistenza addizionale ricavato come sopra.

Da quanto si è visto, si ha che in un circuito in cui la tensione applicata sia di 10 volt, ed in cui in serie allo strumento venga collegata una resistenza di 10.000 ohm, la corrente che scorre è di 1 milliampère e con detta corrente l'indice raggiungerà il fondo scala; il voltmetro può perciò misurare 10 volt senza essere danneggiato purchè sia collegato in serie a detta resi-

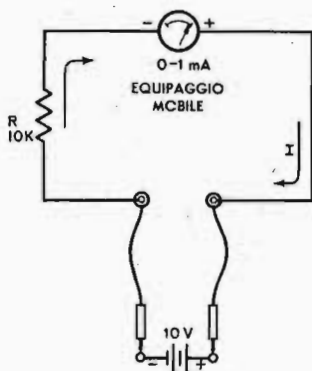



Fig. 1 — La resistenza in serie « R » limita al giusto valore il passaggio di corrente attraverso la bobina mobile

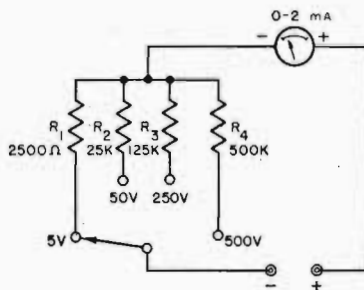



Fig. 2A — Ponendo più resistenze, ognuna di appropriato valore, ed ognuna singolarmente, in serie allo strumento, si possono predisporre portate diverse di lettura voltmetrica. La scelta è fatta dal commutatore.

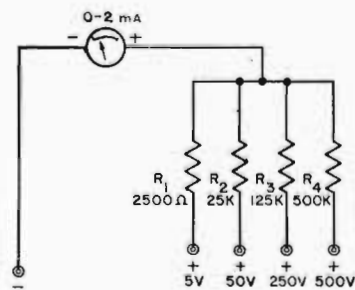



Fig. 2B — In questo caso la scelta della portata è ottenuta inserendo un puntale nella boccola relativa; l'altro puntale (—) rimane sempre nella sua boccola.

stenza di 10.000 ohm. Tale resistenza viene chiamata « addizionale » in quanto aumenta la portata in tensione dello strumento.

Stante ciò, è possibile tarare la scala in volt, e; nel caso preso ad esempio, la lettura di 10 volt rappresenta il fondo scala; se lo strumento viene usato per misurare una tensione di 5 volt, la corrente che lo percorre è di soli 0,5 milliampère. Poichè $I = E:R$ si ha 5:10.000 = 0,0005 ampère = 0,5 mA. Tale valore corrisponde alla metà della corrente massima che può percorrere lo strumento, per cui la bobina mobile determina un campo magnetico pari alla metà di quello massimo: l'indice si porta al centro della scala, ove si trova appunto il valore di 5 volt. La deflessione corrispondente ad un quarto della scala equivale evidentemente a 2,5 volt, e tutte le altre letture sono proporzionali.

Con il metodo descritto è possibile estendere la portata dello strumento a qualsiasi valore. Supponiamo di voler aumentare la portata fino al valore di 500 volt f.s. Applichiamo la legge di Ohm per calcolare la resistenza necessaria per limitare la corrente al massimo valore consentito dallo strumento: se questo è il medesimo strumento di cui sopra, la resistenza sarà data da:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{500}{0,001} = 500.000 \text{ ohm}$$

Perciò, collegando una resistenza di 500.000 ohm in serie alla bobina mobile, è possibile usare lo strumento per misurare 500 volt f.s.; in questo caso è sempre la corrente di un solo milliampère che scorre attraverso la bobina provocando di conseguenza l'esatta deviazione dell'indice su tutta la scala.

Calcolo della resistenza addizionale mediante il fattore "ohm per volt"

Un altro sistema per calcolare la resistenza addizionale è basato sul fattore ohm/V (ohm per volt) il quale non è altro che un modo per esprimere la sensibilità dello strumento. Poichè la corrente è data da $E:R$, e il fattore ohm/V equivale a $R:E$, la sensibilità in ohm per volt è data da

$$\textit{sensibilità in ohm/V} = \frac{1}{\textit{sensibilità in corrente}}$$

Ad esempio, se uno strumento ha la sensibilità di 1 mA f.s., sappiamo che ciò significa che 1 mA provoca l'intera escursione dell'indice: se si desidera che il medesimo strumento possa misurare 10 volt f.s., la sensibilità può essere convertita in fattore ohm/V calcolando l'ammontare della resistenza che deve essere collegata in serie affinchè lo strumento possa leggere 1 volt a fondo scala.

Per misurare 1 volt la resistenza che deve essere inserita in serie allo strumento da 1 mA f.s. è $R = E:I$ = 1:0,001 = 1000 ohm; per avere una portata di 10 volt f.s. è necessario collegare in serie alla bobina mobile una resistenza 10 volte superiore; *in altre parole uno strumento da 1 mA f.s. può essere definito uno strumento da 1.000 ohm/V.*

Correntemente si usa definire appunto in ohm/V la sensibilità di uno strumento in quanto tale fattore è più comodo per determinare quale resistenza addizionale è necessaria per ogni portata.

Se si desidera aumentare la portata di uno strumento da 5.000 ohm/V avente una resistenza interna di 75 ohm, ad un valore di 300 volt f.s., basta moltiplicare il fattore ohm/V per 300, perciò:

300 × 5.000 = 1.500.000 (ossia 1,5 Mohm)

In questo caso la resistenza interna dello strumento (75 ohm), come si è già accennato, è trascurabile.

Concludendo, l'impiego del fattore ohm/V costituisce un metodo pratico per determinare la sensibilità di uno strumento. Minore è la corrente necessaria per la completa deflessione dell'indice, maggiore è la resistenza che deve essere messa in serie alla bobina mobile per misurare ogni volt, e maggiore è quindi la sensibilità; una volta noto tale fattore, basta moltiplicarlo per la portata desiderata in volt per ottenere il valore della resistenza addizionale.

VOLTMETRI a DIVERSE PORTATE

Resistenze addizionali separate

E' logico che, se con l'aggiunta di una resistenza addizionale si aumenta la portata di un voltmetro, mediante l'impiego di un commutatore o di varie prese, facenti capo a diverse resistenze come è illustrato

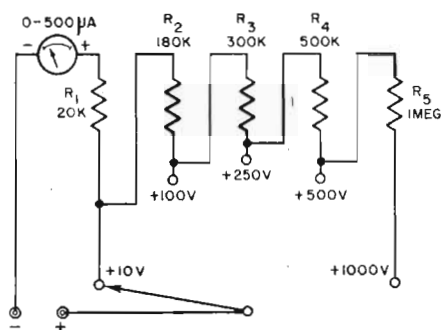



Fig. 2C — Secondo questa soluzione, le resistenze per le varie portate sono sempre in serie allo strumento, ma anche in serie tra loro. La scelta è fatta con commutatore.

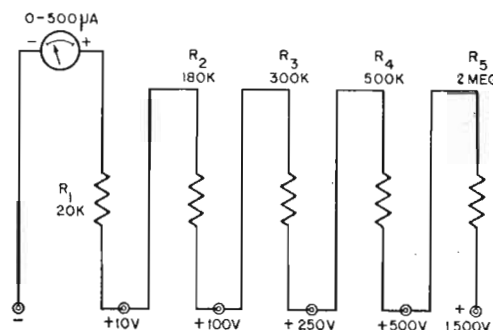



Fig. 2D — Si tratta di un sistema eguale a quello della figura a lato: il calcolo dei valori è eseguito nello stesso modo. La scelta delle portate avviene con lo spostamento di un puntale.

nella **figura** 2 rispettivamente sez. A, *B*, *C* e D, è possibile adattare un voltmetro a diverse portate. Ad esempio, si desidera disporre di un voltmetro a 5 portate commutabili, con resistenza interna di 18 ohm. Le portate richieste sono 5, 50, 250 e 500 volt a fondo scala. (figura 2 sez. **A**).

Il primo passo da compiere consiste nel convertire la sensibilità nel fattore

$$\text{ohm/V} = \frac{1}{\text{sensibilità in corrente}} = 1:0{,}002 = 500 \text{ ohm/V}$$

La resistenza addizionale R_1 per la portata di 5 volt, corrisponde a 5 volte 500, ossia 2.500 ohm; R_2 per la portata di 50 volt equivale a 50 volte 500 ossia 25.000 ohm; R_3 per la portata di 250 volt equivale a 250 volte 500 ossia 125.000 ohm, ed infine R_4 per la portata di 500 volt equivale a 500 volte 500 ossia 250.000 ohm.

Le resistenze R_1, R_2, R_3 ed R_4 sono collegate ad un commutatore come nella sez. A nella figura, ed ognuna delle quattro portate può essere scelta portando il commutatore sulla rispettiva resistenza. Nella sez. **B** della medesima figura, le resistenze sono collegate a varie boccole invece che ad un commutatore. Il terminale negativo comune viene inserito nella boccola negativa, mentre l'altro viene inserito in quella positiva corrispondente alla portata desiderata.

Resistenze addizionali in serie tra loro

La sezione **C** della figura 2 illustra la realizzazione di un altro strumento con resistenze addizionali in serie e l'uso di commutatore per le diverse portate. La sezione **D** della stessa figura è relativa invece alla soluzione che ricorre alle prese; in questo caso, come si è detto, uno dei puntali viene inserito nella boccola comune a tutte le portate (terminale negativo), mentre l'altro viene inserito nella boccola corrispondente alla portata desiderata.

Trattandosi di un tipo di moltiplicatore in serie, è necessario innanzitutto calcolare il valore di R_1, ossia della resistenza per la portata più bassa, dopo di che si trova la resistenza totale adatta per la portata immediatamente superiore: dalla cifra ricavata si sottrae il valore di R_1, ed in tal modo si ottiene il valore di R_2. Ad esempio, supponiamo, come da figura, (sez. C e D) che si debba realizzare un voltmetro a 5 portate mediante uno strumento da 0,5 mA fondo scala, ossia da 500 μA, con una bobina da 55 ohm, e che dette portate debbano essere di 10, 100, 250, 500 e 1.500 volt a fondo scala.

Poichè la corrente massima è di 0,5 mA, la sensibilità in ohm/volt è pari a 1:0,0005, ossia 2.000 ohm per volt; la resistenza addizionale R_1 per la portata 10 volt f.s. sarà 2.000 volte 10, ossia 20.000 ohm.

Per la portata a 100 volt f.s. è necessaria una resistenza addizionale pari a 100 volte 2.000, ossia 200.000 ohm, però, essendo essa in seria ad R_1, il suo valore dovrà essere 200.000 meno 20.000, ossia 180.000 ohm. In tal caso, quando il puntale dello strumento verrà inserito nella portata a 100 volt f.s., in serie allo strumento si troverà una resistenza totale di 200.000 ohm — la resistenza effettivamente necessaria — la quale è costituita dalla somma delle due resistenze R_1 ed R_2 collegate in serie tra loro.

Per la portata a 250 volt f.s. la resistenza addizionale deve essere di 250 volte 2.000, ossia 500.000 ohm, di cui 200.000 sono gia costituiti da R_1 ed R_2, per cui R_3 deve essere soltanto del valore necessario affinchè si raggiunga il valore totale di 500.000, ossia 500.000 — 200.000 = 300.000 ohm.

Per la portata a 500 volt f.s. la resistenza totale sarà di 1.000.000 ohm; R_4 sarà di 1.000.000 — 500.000 = 500.000 ohm, in quanto si trova in serie ad R_1, R_2 ed R_3, la cui somma è appunto 500.000, ed infine, procedendo in modo analogo, per 1000 volt si avrà: 2.000.000 (valore necessario) — 1.000.000 (valore già presente) = 1.000.000 ohm, valore per R_5 nella sezione C della figura o, ancora, per 1.500 volt, 3.000.000 — 1.000.000 = 2.000.000 ohm, valore per R_5 nella sezione D.

TIPI di MOLTIPLICATORI

Le resistenze usate per estendere le portate dei voltmetri possono essere tanto a filo che chimiche. Negli strumenti di alta precisione, si usano generalmente resistenze a filo con una tolleranza dello 0,1% tut-

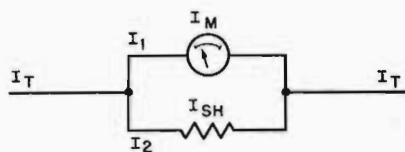



Fig. 3A — Nel caso di misuratori di corrente (amperometri, milliamperometri, ecc.) la resistenza che devia l'eccesso di corrente deve essere posta in parallelo allo strumento; essa prende il nome di « shunt ».

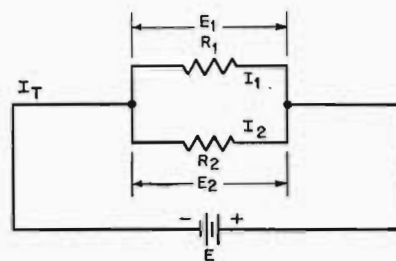



Fig. 3B — La tensione ai capi delle due resistenze in parallelo essendo eguale, si ha un passaggio di corrente, in ogni resistenza, inversamente proporzionale al suo valore.

tavia, si possono usare anche resistenze chimiche, purchè il loro valore sia compreso entro limiti accettabili di precisione. Le resistenze chimiche vengono generalmente impiegate negli strumenti più economici, nei quali una indicazione sufficientemente approssimata può sostituirne una rigorosamente esatta, oppure in strumenti di una certa precisione in casi di emergenza.

E' comunque importante sapere che, in ogni caso, le resistenze addizionali a filo possono essere realizzate solo dai valori minimi fino ad un massimo di qualche diecina di migliaia di ohm, mentre per valori più alti si usano resistenze chimiche, e ciò unicamente per il fatto che resistenze dell'ordine delle centinaia di kohm o dei Mohm realizzate con filo, oltre ad occupare un notevole spazio, avrebbero un costo addirittura proibitivo. A questo scopo, le fabbriche di resistenze chimiche producono, oltre al normale assortimento di resistenze con tolleranza del 5, del 10 o del 20%, anche resistenze speciali, particolarmente selezionate, con tolleranze dell'1% o anche meno, che possono essere usate per le portate alte dei voltmetri di precisione.

AMPEROMETRO TIPICO

Per effettuare una misura di corrente, è necessario interrompere il circuito e collegare un amperometro nel punto di interruzione, ristabilendo il circuito attraverso lo strumento stesso. Quando quest'ultimo è in serie agli altri componenti — e l'intera corrente da misurare è maggiore alla massima che esso può misurare — è possibile collegare una piccola resistenza in parallelo alla bobina mobile onde deviare una parte della corrente stessa. (vedi sez **A** della **figura 3**).

Poichè gli strumenti sono di solito milliamperometri o microamperometri, è possibile estenderne la portata mediante l'impiego degli « shunt », i quali non sono altro che resistenze di valore determinato che vengono collegate *in parallelo*, ossia in derivazione, alla bobina mobile dello strumento.

La corrente attraverso resistenze in parallelo.

Sappiamo già che in un circuito consistente di due resistenze in parallelo, la corrente si divide in modo tale che nella resistenza avente il valore più basso essa scorre in quantità maggiore e viceversa.

Non è male qui rivedere quanto abbiamo già appreso in proposito.

Se due resistenze, R_1 ed R_2 sono in parallelo, la tensione presente ai capi di entrambe è la medesima, ossia E_1 equivale ad E_2 (sez. **B** della figura 3).

Inoltre $E_1 = I_1 \times R_1$

e $E_2 = I_2 \times R_2$

Poichè $E_1 = E_2$, si ha che $I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2$

e trasponendo $$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Questa equazione stabilisce che in un circuito in parallelo contenente due resistenze, la corrente presente in ognuna di esse è inversamente proporzionale al suo valore: se una ha un valore doppio dell'altra, la corrente che scorre nella resistenza maggiore è esattamente la metà di quella che scorre nella minore, ed analogamente, se una è il triplo dell'altra, la sua corrente sarà pari ad un terzo. Ciò è vero in quanto la legge di Ohm stabilisce che *I* volte *R* deve corrispondere alla medesima tensione se le resistenze sono in parallelo.

Formula per il calcolo degli "shunt"

I due circuiti della figura 3 mostrano l'analogia tra un circuito in parallelo contenente due resistenze, e la combinazione tra la resistenza interna di uno strumento ed una seconda resistenza posta in parallelo a quest'ultima.

La formula testè enunciata può essere modificata come segue:

$$R_1 = \frac{Rm\ I_2}{I_1}$$

e, dal momento che i due circuiti sono analoghi, al circuito della sez. A si può applicare la seguente formula:

$$Rsh = \frac{Rm\ Im}{I_{sh}}$$

nella quale *Rsh* è la resistenza dello « shunt », *Rm* quella della bobina mobile, *Im* la corrente massima

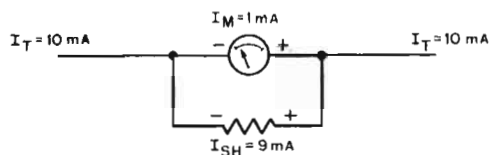



Fig. 4 — Dovendo misurare 10 mA massimi con uno strumento da 1 mA a fondo scala, si provvederà con uno « shunt » ad assorbire i 9 mA che risultano eccessivi per la portata dello strumento.

Fig. 5 — Così come per disporre di diverse portate nel caso dei voltmetri si prevedono commutatori di resistenze addizionali (in serie), nel caso dei misuratori di corrente si prevedono diversi valori di « shunt » (in parallelo).

necessaria per provocare la deflessione dell'indice dello strumento fino al fondo scala, ed infine *Ish* la quantità di corrente che deve passare attraverso lo « shunt ».

Tale formula può essere utilizzata per calcolare i vari valori degli « shunt » da collegare in parallelo ad un dato strumento.

Supponiamo che si desideri estendere la portata di uno strumento da 1 mA f.s. e bobina da 27 ohm, a 10 milliampère. Ciò significa che, quando l'indice si trova a fondo scala, nel circuito deve scorrere una corrente di 10 mA, (vedi **figura 4**). Dal momento che l'equipaggio mobile può sopportare soltanto 1 mA, lo « shunt » deve permettere il passaggio della intera differenza, ossia di 9 milliampère.

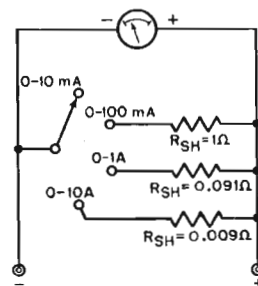
Al fine di calcolare la resistenza opportuna che lo « shunt » deve avere si usa la formula che dà il valore di R_{sh}.

$$R_{sh} = \frac{Rm\ Im}{I_{sh}} = \frac{27 \times 0{,}001}{0{,}009} = 3 \text{ ohm}$$

La cifra usata per I_{sh} rappresenta la corrente effettiva che scorrerà nello « shunt », ossia 9 mA, corrispondenti alla corrente totale meno quella che passa attraverso lo strumento, e non la corrente totale che, come sappiamo, è di 10 milliampère.

Dal momento che lo « shunt » ha un valore pari ad 1/9 di quello della bobina mobile, la corrente che lo percorre sarà pari a 9 volte quella che passa attraverso quest'ultima.

Se lo strumento viene collegato in un circuito la cui corrente ammonta a 5 mA, questa si dividerà tra la bobina e lo « shunt » con un rapporto di 1 a 9, per cui attraverso la prima passeranno 0,5 mA, ed attraverso il secondo 4,5 mA, il che corrisponde ad una deflessione dell'indice di metà della scala. Poichè l'intera scala copre la portata di 10 mA, detta deflessione segnerà il valore di 5 mA, e a tutti gli altri valori di corrente compresi tra 0 e 10 mA corrisponderanno spostamenti proporzionali.

La resistenza interna dell'equipaggio mobile deve essere tenuta sempre in considerazione nel calcolo del valore dello « shunt », in quanto detto valore è strettamente legato al primo, mentre a volte è possibile ignorarla, come già si è visto nel calcolo delle resistenze addizionali per i voltmetri. Queste resistenze, infatti sono generalmente di valore piuttosto alto, rispetto alla resistenza della bobina mobile, e il valore di quest'ultima diventa trascurabile.

Tipi di " shunt "

In radiotecnica si misurano generalmente correnti di piccola entità; gli « shunt » sono di solito interni agli strumenti, e realizzati in rame, nichelcromo, argentana o con qualsiasi altro conduttore a bassa resistenza.

Quando invece la corrente da misurare è maggiore di 30 A, lo « shunt » viene posto esternamente allo strumento onde evitare che quest'ultimo venga danneggiato a causa del calore che si sviluppa in seguito al passaggio di una corrente così alta.

Per tali « shunt » a bassa resistenza si usano blocchetti di rame o di manganina, in quanto hanno un coefficiente termico relativamente basso, e possono sopportare correnti estremamente forti.

La resistenza di questi « shunt » è di valore molto basso, (molto meno di 1 ohm): i terminali di collegamento ne fanno parte integrante, e qualsiasi variazione della lunghezza determina una variazione della precisione della lettura.

GLI AMPEROMETRI a PORTATE MULTIPLE

" Shunt " multipli

Negli amperometri a portate multiple è necessario avere diversi valori di fondo scala. Anche per gli amperometri, così come abbiamo visto per i voltmetri, il passaggio dall'uno all'altro valore può essere realizzato o mediante un sistema a commutatore (vedi **figura 5**), o mediante varie boccole nelle quali si inserisce il puntale dello strumento. Ad esempio, se si desidera estendere la portata di uno strumento da 10 mA onde poter effettuare misure nelle varie portate da 0 a 10 mA, da 0 a 100 mA, da 0 a 1 A e da 0 a 10 A, per la prima gamma non è necessaria la presenza dello « shunt » in quanto essa costituisce già la portata base dello strumento. Per la seconda portata, (da 0 a 100 mA), *Rsh* equivale a *Rm Im:Ish*, ossia a 9 volte il

$\frac{R_M}{R_{SH}} = \frac{30}{60} = \frac{1}{2}$

$\frac{I_{SH}}{I_M} = \frac{0.005}{0.01} = \frac{1}{2}$

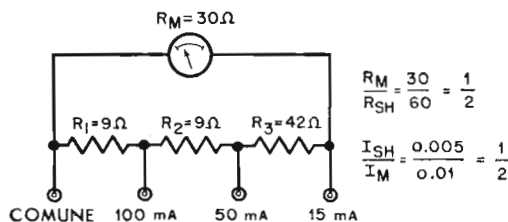



Fig. 6A — Molte volte si adottano « shunt » multipli a circuito chiuso: in essi, a seconda della portata si ha una parte di resistenza in parallelo ed una parte in serie allo strumento. Qui, nella portata più bassa, tutta la resistenza ($R_1 + R_2 + R_3$) è in parallelo.

$\frac{R_M}{R_{SH}} = \frac{72}{18} = \frac{4}{1}$

$\frac{I_{SH}}{I_M} = \frac{0.04}{0.01} = \frac{4}{1}$

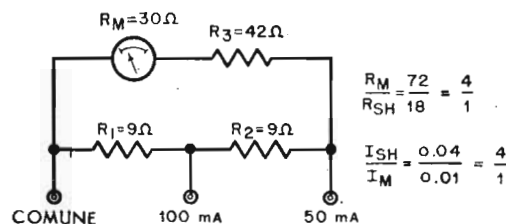



Fig. 6B — Nella portata di 50 mA due delle resistenze (R_1 ed R_2) risultano ancora in parallelo allo strumento che però ha in serie R_3; di ciò occorre tenere debito conto nel calcolo dei valori resistivi.

rapporto 0,01:0,09, ossia 1 ohm. Per la terza portata, (da 0 a 1 A), *Rsh* è eguale a 9 volte il rapporto 0,01:0,99, ossia 0,091 ohm. Per la quarta portata infine si considera il valore di 10 A invece del valore effettivo di 9,99 A in quanto non esiste praticamente una differenza numerica usando alternativamente i due valori, mentre invece resta facilitato il calcolo.

« Shunt » a circuito chiuso o ad anello

Molti tipi di milliamperometri commerciali impiegano « shunt » a prese intermedie — detti anche ad **anello** — invece di « shunt » separati. Secondo questo **sistema**, una parte della resistenza si trova **in serie** all'equipaggio mobile, mentre l'altra parte è collegata in parallelo, dipendendo ciò dalla portata (vedi **figura** 6). Ad esempio, nella portata più bassa, e precisamente da 0 a 15 mA, l'intera resistenza dello « shunt », costituita da R_1, R_2 ed R_3 si trova in parallelo alla bobina mobile, come è illustrato nella sez. **A** della figura. Nella portata successiva — da 0 a 50 mA — R_3 si trova in serie allo strumento, mentre R_1 ed R_2 sono in parallelo, come è illustrato nella sezione **B**. Nella portata più alta infine — da 0 a 100 mA — R_2 ed R_3 sono in serie, mentre R_1 è in parallelo al circuito costituito dallo strumento e dalle due resistenze R_2 ed R_3 come è illustrato nella sez. **C**.

Il sistema di « shunt » ad anello ha un vantaggio rispetto a quello degli « shunt » separati perchè, dal momento che una parte della resistenza totale si trova in serie allo strumento, la parte di resistenza in parallelo che ha il compito di assorbire la maggior parte della corrente non deve essere di valore eccessivamente basso in quanto detto valore è proporzionale al valore della resistenza shuntata, che naturalmente viene ad essere maggiore che non quello della sola bobina mobile.

Per calcolare i valori degli « shunt » ad anello è necessario comprendere perfettamente le relazioni che intercorrono tra le resistenze in parallelo ed in serie, e le relative correnti. Nella **figura 7**, R_A è di 30 ohm R_B di 60 ohm: esse sono in parallelo. Se in questo circuito scorre una corrente totale di 3 mA, un terzo della corrente, ossia 30:90, scorrerà attraverso la resistenza di 60 ohm (valore resistivo più alto) e due terzi, ossia 60:90, scorreranno nella resistenza di 30 ohm (valore resistivo più basso). La corrente di 2 mA presente nella resistenza più piccola R_A, è il doppio di quella che scorre in R_B. Il rapporto tra la corrente di un ramo e la corrente totale è il medesimo che esiste tra il valore della resistenza del ramo opposto, e la somma delle due resistenze (R_T).

Ossia $$\frac{I_A}{I_T} = \frac{R_B}{R_T}$$

nella quale R_T equivale a $R_A + R_B$, e I_T equivale $I_A + I_B$. Ciò apparirà più chiaro sostituendo il valore nelle equazioni:

$$\frac{I_A}{I_T} = \frac{R_B}{R_T} = \frac{2}{3} = \frac{60}{90}$$

Moltiplicando entrambi i membri per R_T, la formula diventa:

$$R_B = \frac{R_T\, I_A}{I_T}$$

Per usare questa formula onde calcolare lo « shunt » dello strumento, supponiamo che le due resistenze in parallelo rappresentino rispettivamente una bobina mobile ed il suo « shunt ». La sotto-lettera $_A$ diventa $_M$, e $_B$ diventa $_{SH}$. La formula diventa così:

$$R_{SH} = \frac{R_T\, I_M}{I_T}$$

Per risolvere i problemi relativi agli « shunt » ad anello si trova innanzitutto il valore dell'intero «shunt» mediante la formula:

$$R_{SH} = I_M R_M : I_{SH}$$

e gli « shunt » individuali costituenti l'anello vengono calcolati usando invece la formula:

$$R_{SH} = \frac{R_T\, I_M}{I_T}$$

Ad esempio, calcoliamo i singoli valori delle resistenze costituenti lo « shunt » ad anello illustrato nella figura 6.

Lo strumento ha una bobina mobile da 10 mA, 30 ohm. Innanzitutto, è necessario trovare il valore dell'intero « shunt » ossia $R_1 + R_2 + R_3$. Nella portata

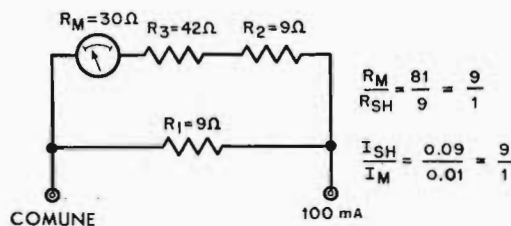



Fig. 6C — Per la portata più alta risulta come « shunt » solo R_1; essa è in parallelo all'assieme strumento + $R_3 + R_2$. Queste ultime due resistenze sono infatti in serie allo strumento stesso.

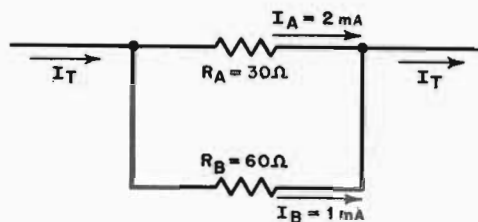



Fig. 7 — Se R_A è di 30 ohm ed R_B di 60 ohm, e si ha una corrente totale I_T di 3 mA, nel valore resistivo più alto scorrera un terzo della corrente (1 mA), nel valore resistivo più basso i due terzi (2 mA).

15 mA, tutte le resistenze sono in serie ($R_1 + R_2 + R_3$) e nel loro assieme risultano in parallelo alla bobina mobile dello strumento.

Usando la vecchia formula dello « shunt », si ha:

$$R_{SH} = \frac{I_M\ R_M}{I_{SH}} = \frac{0{,}01 \times 30}{0{,}005} = 60 \text{ ohm}$$

quindi $R_1 + R_2 + R_3$ equivale a 60 ohm. Ora che conosciamo l'intero valore dello « shunt », è possibile calcolare R_T computando i valori delle singole resistenze presenti nel circuito ad anello. E' opportuno ricordare che per R_T si intende la somma dell'intero « shunt » più la resistenza interna dello strumento. Poichè lo « shunt » totale è, come abbiamo visto, di 60 ohm, e la resistenza interna è di 30 ohm, R_T equivale a 90 ohm. A questo punto si può calcolare il valore dello « shunt » per la portata più alta (da 0 a 100 mA): per questa portata, come nella sez. C, R_1 agisce da « shunt », e, usando la formula dello « shunt » ad anello, si ha:

$$R_1 = \frac{R_T\ I_M}{I_T} = \frac{90 \times 0{,}01}{0{,}1} = 9 \text{ ohm.}$$

Nella portata da 50 mA lo « shunt » è costituito da $R_1 + R_2$ (vedi sezione B della figura) e

$$R_1 + R_2 = \frac{R_T\ I_M}{I_T} = \frac{90 \times 0{,}01}{0{,}05} = 18 \text{ ohm.}$$

Dal momento che R_1 è di 9 ohm, ed $R_1 + R_2$ è = 18 ohm, è ovvio che R_2 deve essere di 9 ohm, quindi R_3 avrà un valore pari alla differenza tra 60 e 18, ossia 42 ohm.

STRUMENTI ad ALTA RESISTENZA

Quando si usa uno strumento a bassa resistenza per misurare una tensione presente ai capi di una resistenza di alto valore, è probabile che le condizioni del circuito vengano alterate, dal che consegue una lettura inesatta. Ad esempio, nella sez. **A** della **figura 8**, due resistenze da 100.000 ohm sono in serie tra loro ed in parallelo ad una batteria da 60 volt. Essendo le due resistenze eguali, ai capi di ognuna di esse avremo 30 volt.

Supponiamo di collegare uno strumento da 1.000 ohm per volt ai capi di R_1, mettendolo nella portata 100 volt come nella sez. **B**. In questo caso avremo una resistenza di 100.000 ohm in serie allo strumento (pari a 100 volt × 1000). Quando detto strumento viene collegato ai capi di R_1, due resistenze da 100.000 ohm vengono a trovarsi in parallelo, per cui il valore totale scende a 50.000 ohm. A causa di questa variazione di resistenza, varia contemporaneamente la distribuzione delle tensioni nei circuiti. La resistenza totale che prima era di 200.000 ohm, è ora di 150.000, e poichè R_2 ha assunto ora un valore pari a 2/3 della resistenza totale in serie al circuito, ai capi avremo 40 volt — pari a 2/3 della tensione totale — mentre avremo soltanto 20 volt ai capi della combinazione tra R_1 e la resistenza dello strumento.

Lo strumento legge sempre la tensione presente ai suoi capi, ed in questo caso legge 20 volt, ma, non appena esso viene staccato, la tensione presente ai capi di R_1 torna ad essere di 30 volt. Da ciò possiamo dedurre che se la resistenza interna di un voltmetro è troppo bassa rispetto a quella dell'elemento ai capi del quale si desidera misurare la tensione, si ha come risultato una lettura inesatta.

Quando invece si usa uno strumento più sensibile, con una resistenza addizionale di valore più alto, la lettura è ovviamente più precisa. Uno strumento da 20.000 ohm per volt ha, nella portata a 100 volt, una resistenza in serie di 2.000.000 ohm, e, quando tale resistenza viene collegata in parallelo ai 100.000 ohm di R_1, detto valore rimane praticamente il medesimo agli effetti pratici, per cui non si verificano variazioni di tensione apprezzabili, la tensione rimane a 30 volt, e lo strumento effettua la lettura conformemente.

Maggiore è la sensibilità dello strumento, e maggiore deve essere la resistenza addizionale per una data portata, per cui ne consegue che le perturbazioni apportate nei circuiti sono di minore entità e le letture sono più esatte.

Qualora si disponga unicamente di uno strumento a bassa resistenza per effettuare delle letture di tensione in un circuito ad alta resistenza, l'effetto di « shunt » che lo strumento provoca deve ovviamente essere tenuto in considerazione. Tale effetto può essere ridotto al minimo effettuando la misura col voltmetro adattato alla sua portata maggiore, anche se,

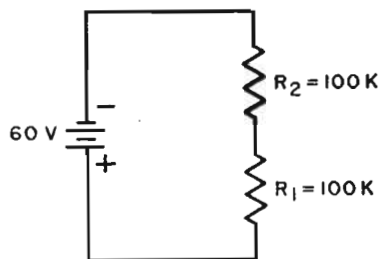



Fig. 8A — Se ad un circuito formato da due resistenze di eguale valore (100 kohm) in serie tra loro, sono avviati 60 volt, avremo ovviamente 30 volt ai capi di ogni singola resistenza.

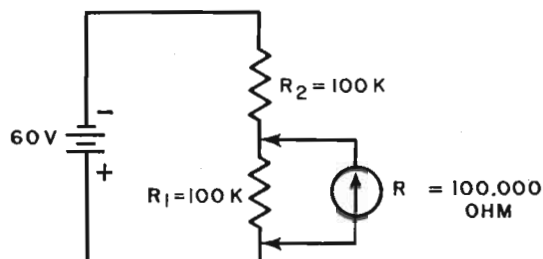



Fig. 8B — I 30 volt presenti nel caso della figura a fianco non sono più tali se ai capi di una resistenza viene posto uno strumento a bassa resistenza totale, dato il suo notevole assorbimento.

in questo caso, la deflessione dell'indice non è molto grande: la resistenza addizionale dello strumento, essendo il valore più elevato, apporta al circuito variazioni di minore entità. Se però in questo caso si ha un minore effetto di « shunt » da parte dello strumento, d'altro canto si ha che la precisione di lettura viene egualmente compromessa a causa dello spostamento minimo da parte dell'indice, poichè, tra l'altro — come abbiamo visto precedentemente — le letture sono tanto più precise quanto più vengono effettuate in prossimità del fondo scala.

APPLICAZIONE degli STRUMENTI

Un altro metodo per misurare tensioni più alte di quelle che lo strumento può sopportare consiste nel creare un partitore di tensioni costituito da 10 resistenze del medesimo valore collegate in serie tra loro. Il valore di tali resistenze deve essere di almeno 1 Mohm in modo da assorbire dal carico una quantità minima di corrente. Detto partitore viene collegato ai capi della tensione da misurare, e la lettura viene effettuata ai capi di una singola resistenza del partitore. Il valore indicato dallo strumento corrisponde allora alla decima parte della tensione effettiva, per cui la lettura stessa deve essere poi moltiplicata per 10.

L'amperometro, a differenza del voltmetro, deve avere una bassa resistenza onde evitare di apportare variazioni al circuito. Se un amperometro viene inserito in un circuito avente una resistenza totale piuttosto piccola, esso riduce in maniera apprezzabile la corrente che scorre; per contro, quando la resistenza dello strumento è piccola in confronto alla resistenza in serie del circuito, il suo effetto sulla corrente totale è trascurabile, dal che deriva una misura più precisa.

Nella ricerca dei guasti il tecnico effettua raramente misure di corrente, in quanto esse implicano l'apertura di un circuito; di solito è possibile ottenere indicazioni sufficienti effettuando le letture di tensione e di resistenze onde individuare la causa del guasto. Ove necessario, la corrente può essere calcolata misurando la tensione e la resistenza ed usando la formula della legge di Ohm che risolve rispetto alla corrente. Se si desidera una lettura amperometrica, e non si dispone di uno strumento adatto per effettuarla, generalmente è più semplice calcolare la corrente col metodo della tensione piuttosto che realizzare uno « shunt » del valore appropriato. A questo scopo, è sufficiente collegare in serie al circuito una piccola resistenza di valore noto, e leggere la caduta di tensione ai suoi capi, dopo di che si calcola la corrente mediante la legge di Ohm. Il valore resistivo inserito nel circuito deve essere piccolo (meno di un decimo del valore della resistenza in serie costituita dal circuito stesso) altrimenti si avranno letture inesatte.

PRECAUZIONI nell'IMPIEGO del VOLTMETRO e dell'AMPEROMETRO

Dal momento che un misuratore di corrente ha una resistenza bassa, è importante usarlo con particolari precauzioni. Se esso viene erroneamente collegato ai capi di una sorgente di tensione, può riportare gravi danni. *Non bisogna mai collegare un amperometro e tanto meno un milliamperometro* **ai capi** *di una batteria o di una resistenza;* è necessario interrompere il circuito e collegare lo strumento **in serie**, in modo che ognuno dei terminali dello strumento sia in contatto con uno dei punti dell'interruzione appositamente effettuata, rispettando naturalmente la polarità nel caso che si tratti di corrente continua, onde evitare una violenta deflessione dell'indice all'indietro e cioè verso sinistra.

I voltmetri invece, devono essere collegati **in parallelo** ai circuiti o ai relativi componenti onde misurare la tensione presente ai loro capi.

Quando si usa o un amperometro o un voltmetro è necessario osservare le seguenti regole:

1) Per misurare un valore completamente ignoto, iniziare sempre con la portata più alta, e diminuire gradatamente detta portata fino ad ottenere una lettura quanto più prossima possibile al fondo scala, senza però che questo venga oltrepassato: questo metodo protegge lo strumento da qualsiasi danno che può derivare dal tentativo di misurare un valore più alto di quello che è previsto in una data portata.

2) Osservare la polarità. I puntali di prova normalmente sono colorati; quello negativo generalmente è nero e quello positivo rosso. Quest'ultima norma ha riferimento e valore soltanto nei casi di lettura in corrente continua.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

ohm/volt = ohm per volt: fattore che indica la sensibilità di uno strumento a bobina mobile.

f. s. = fondo scala: indica la massima portata di uno strumento, allorchè l'indice si porta all'estremità destra della scala.

R_i = Resistenza interna.

R_m = Resistenza interna di uno strumento.

R_s = Resistenza interna di una sorgente.

R_{sh} = Resistenza di uno « shunt ».

R_{add} = Resistenza addizionale.

I_m = Portata fondo scala di uno strumento in (mA).

I_{sh} = Intensità di corrente attraverso uno « shunt ».

FORMULE

$$\text{Sensibilità in ohm/volt} = \frac{1}{\text{I fondo scala}}$$

Per aumentare la portata voltmetrica di uno strumento:

$$R_{add} = \frac{\text{volt. f.s. (da ottenere)}}{\text{I f.s. (dello strumento)}} - R_m$$

oppure

$$= (\text{volt f.s. da ottenere} \times \text{fatt. ohm/volt}) - R_m$$

Per aumentare la portata amperometrica di uno strumento

$$R_{sh} = \frac{R_m \times I_m}{I_{sh}}$$

SEGNI SCHEMATICI

DOMANDE sulle LEZIONI 19ª e 20ª

N. 1 — Tre resistenze, R1 di 60 ohm, R2 di 50 ohm ed R3 di 40 ohm, sono collegate in parallelo ad una sorgente di tensione di 120 volt. Trovare: a) La resistenza totale; b) La corrente totale, e c) La corrente che scorre in ciascuna resistenza.

N. 2 — Applicando la legge di Kirchhoff per la tensione, ad un circuito in serie, come si determinano i segni algebrici della f.e.m. della sorgente, e quelli delle d.d.p. presenti ai capi dei carichi?

N. 3 — Se la direzione ipotetica della corrente è errata, in quale modo tale errore si ripercuote sul risultato se si applica la legge di Kirchhoff per determinare l'intensità delle correnti in un circuito in serie?

N. 4 — Nella figura 4 della Lez. 19ª, se E_s è di 300 volt, la corrente che passa attraverso la resistenza *A* è di 10 milliampère, le tensioni presenti ai capi dei carichi sono da destra a sinistra rispettivamente di 50, 100 e 200 volt, e le relative correnti ammontano a 5, 10 e 20 milliampère, trovare i valori ohmici di *A*, *B*, *C* e *D*.

N. 5 — Supponiamo che nella figura 5 (Lez. 19ª), R4, R5, R6 ed R7 abbiano ciascuna il valore di 10 kohm, e che le correnti dei carichi R1, R2 e R3 siano rispettivamente di 4, 6 ed 8 milliampère. Se la tensione E_s ammonta a 600 volt, trovare: a) Le correnti che scorrono attraverso R5, R6 ed R7. b) Le tensioni presenti ai capi di R1, R2 ed R3.

N. 6 — Quali sono le funzioni di un attenuatore?

N. 7 — Nell'attenuatore ad « L » di figura 6A (Lez. 19ª), quale è la relazione tra R_s e la resistenza presente tra *A* e *B*? Inoltre, se R_s ed R_L hanno entrambe il volore di 200 ohm, E_s=40 volt, I_s=0,1 ampère ed E_L=4 volt, trovare il valore di R1 e di R2.

N. 8 — Nell'attenuatore a « T » di figura 6B (Lez. 19ª), quale è la relazione tra la resistenza presente tra *a* e *b*, e quella che sussiste tra *e* ed *f*? Inoltre, se R_s ed R_L hanno entrambe il valore di 60 ohm, E_s è di 120 volt, I_s è di 1 ampère ed E_L è di 30 volt, trovare il valore di R1 e di R2.

N. 9 — Nella figura 7 (Lez. 19ª), la resistenza AB sia di 4 ohm, BC di 2 ohm, AC di 8 ohm, BD di 28 ohm, e CD di 6 ohm; se la corrente totale fornita dalla batteria ammonta a 5 ampère, trovare il valore della corrente che percorre AB (I_1) e quello della corrente che percorre BC (I_3).

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 137

N. 1 —
Volt, ampère, ohm e watt.

N. 2 —
$$I=\frac{E}{R}$$

N. 3 —
La diminuzione di 0,5 ampère.

N. 4 —
(**a**) $E=IR$ (**b**) $R=\frac{E}{I}$

N. 5 —
La potenza è il rapporto tra il lavoro e il tempo.

N. 6 —
(**a**) $P=EI$ (**b**) $P=\frac{E^2}{R}$ (**c**) $P=I^2R$.

N. 7 —
80 watt.

N. 8 —
Un aumento di 25 watt.

N. 9 —
No. La corrente in un circuito in serie è costante in tutti i punti.

N. 10 —
No. Due resistenze in parallelo hanno ai loro capi la medesima d.d.p.

N. 11 —
(**a**) $W=EIt$ (**b**) $W=\frac{E^2}{R}t$ (**c**) $W=I^2Rt$ (**d**) $W=QE$.
(E in volt, I in ampère, W in watt e t in ore).

N. 12 —
10 ampère.

N. 13 —
240 wattore.

N. 14 —
112 volt.

N. 15 —
0,5 ampère.

N. 16 —
No, perchè la resistenza del filamento varia col variare della sua temperatura, il cui aumento determina un aumento di R.

N. 17 —
La condizione necessaria è che funzionino tutte con la medesima intensità di corrente.

N. 18 —
La condizione necessaria è che funzionino tutte con la medesima tensione.

Per non rendere troppo arida questa prima parte del nostro Corso, e per far sì — in altre parole — che alle necessarie esposizioni teoriche si unisse quanto prima possibile qualche progetto realizzativo, abbiamo già fatto in modo che il lettore trovasse — addirittura nel terzo fascicolo — due semplici progetti di ricevitori radio.

Con un intento in parte analogo, ed in parte perseguente altri fini, ci accingiamo ora — nelle pagine che seguono — a descrivere un primo, semplice apparecchio di misura. Abbiamo detto intento analogo per significare che abbiamo voluto passare alla parte pratica con sollecitudine; perseguendo altri fini invece perchè la costruzione che presenteremo non è destinata, come i due ricevitori, ad un successivo smontaggio, ma può rimanere a corredo permanente del laboratorio.

Premettiamo che l'apparecchiatura descritta non rientra in quelle assai più conosciute e di molto più frequente impiego che sono note col nome di analizzatori o « tester », oscillatori, provavalvole ecc., che vedremo ben presto in dettaglio. Si tratta di un piccolo assieme al quale si farà ricorso forse raramente e che, purtuttavia, è molto opportuno possedere perchè può stare alla base di moltissime altre realizzazioni. Si può dire, in altri termini, che il ponte di misura che descriveremo è lo strumento indispensabile alla eventuale costruzione — in forma autonoma — di tutti gli altri strumenti. Poichè la spesa non è elevata e poichè può rendere così preziosi servigi, anche se sporadicamente, noi ne consigliamo senz'altro la costruzione a chi desidera effettuare in avvenire altri montaggi di apparecchi di misura.

Precisiamo che mentre può essere realizzato, in linea di massima, un « ponte » che consenta di effettuare vari tipi di misure (induttanza, capacità, resistenza) abbiamo preferito seguire questo criterio: ponte di elevata precisione per sole resistenze e, successivamente — in un prossimo fascicolo — descrizione di un altro ponte, per i tre elementi citati, con logica necessità di maggiore spesa: si potrà così scegliere a seconda dell'impiego previsto. Questo primo ponte, di precisione, è comunque molto consigliabile.

IL PONTE di WHEATSTONE

Abbiamo testè illustrata, nella prima lezione di questo stesso fascicolo, in modo sufficientemente esauriente, la teoria completa di funzionamento dei ponti. Sulla scorta di ciò, esaminiamo quindi la **figura 1** che riproduce appunto un ponte del tipo che a noi ora interessa e che viene detto di Wheatstone. Troviamo anzitutto che esso — come gli altri circuiti a ponte, del resto — è caratterizzato da una sorgente di energia, da uno strumento rivelatore di corrente, da alcuni componenti « campione » di provata precisione e da due morsetti ai quali viene collegato il componente (nel nostro caso la resistenza) il cui valore deve essere misurato.

COSTRUZIONE di un PONTE di WHEATSTONE

Come sorgente di energia viene impiegata una batteria a secco; come strumento indicatore un galvanometro di elevata sensibilità, del tipo a zero centrale, ossia con l'indice che in posizione di riposo (quando la bobina mobile non è percorsa da alcuna corrente) si trova al centro della scala; come componenti campione una serie di resistenze tarate, a filo.

La figura già citata illustra il principio di funzionamento. Il circuito è costituito da quattro resistenze e precisamente *Ra* (resistenza di valore noto), *Rb* (anch'essa di valore noto e proporzionale ad *Ra*), *Rs* (resistenza standard regolabile a mezzo di un opportuno comando), ed *Rx*, (resistenza incognita da misurare).

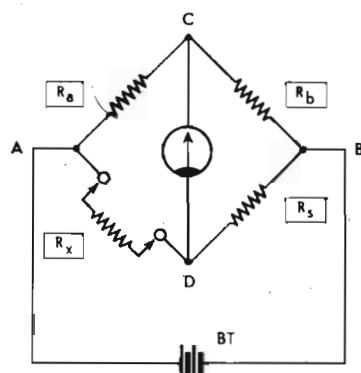



Fig. 1 — Schema di principio del Ponte di Wheatstone. Si hanno tre elementi noti (Ra - Rb - Rs) e quello incognito: Rx, una sorgente di energia BT e lo strumento che indica l'equilibrio.

La batteria *BT* fornisce una corrente continua che viene applicata nei punti *A* e *B*, e che quindi scorre nei due circuiti in parallelo tra loro costituiti da *Ra/Rb* e da *Rs/Rx* rispettivamente in serie tra loro. Il galvanometro è invece connesso tra i punti *C* e *D*, ed ha il compito di misurare la differenza di potenziale esistente tra questi due ultimi punti.

Qualunque siano i valori ohmici di *Ra* ed *Rb*, tra di essi deve esistere un certo rapporto (ad esempio 10; se *Ra* è di 1 ohm *Rb* sarà di 10 ohm). Se il medesimo rapporto sussiste tra *Rx* ed *Rs* (ad esempio, se i rispettivi valori sono di 3 e 30 ohm, nel qual caso 30 : 3=10), il punto *D* avrà il medesimo potenziale del punto *C*. Di conseguenza, nessuna corrente potrà passare attraverso il galvanometro, e l'indice resterà immobile: il ponte sarà « bilanciato ». Qualsiasi perturbazione avvenga in una delle quattro resistenze, sarà causa sufficiente a distruggere il bilanciamento ed a provocare un passaggio di corrente attraverso lo strumento.

Ra ed *Rb* vengono denominati « bracci di rapporto », mentre *Rs* (resistenza standard o di « paragone ») è il braccio con la cui resistenza viene confrontato il valore di *Rx* onde ottenere il bilanciamento. Se i due rapporti sono eguali, la caduta di tensione presente ai capi di *Ra* equivale a quella presente ai capi di *Rx*: la medesima cosa accade nei confronti della caduta presente ai capi *Rb* e di *Rs*.

Condizione necessaria per ottenere il bilanciamento è dunque che *Ra* : *Rb* sia eguale a *Rx* : *Rs*, oppure che *Rb* : *Ra* sia eguale ad *Rs* : *Rx*. Per la legge della proporzionalità avremo in ogni caso che:

$$Rx = \frac{Ra \times Rs}{Rb}$$

Allo scopo di ottenere diverse portate di misura, è possibile variare i valori di *Ra* e di *Rb* per ottenere vari rapporti: infatti, dando, ad esempio, ad *Ra* il valore di 10 ohm, e ad *Rb* il valore di 10.000 ohm, avremo un rapporto pari a 10:10.000=1/1.000; in queste condizioni il ponte sarà bilanciato soltanto se il valore di *Rx* sarà pari ad 1/1.000 di *Rs*. Viceversa, se diamo ad *Ra* il valore di 1.000 ohm, e ad *Rb* il valore di 10 ohm, avremo un rapporto pari a 1.000:10=100, per cui il ponte sarà bilanciato soltanto se *Rx* sarà pari a 100 volte *Rs*.

Applicando dunque diversi rapporti intermedi — e potendo variare *Rs* entro ampi margini, progressivi e regolari — è possibile effettuare misure molto precise a partire da una piccolissima frazione di ohm, fino a diverse centinaia di migliaia di ohm. Naturalmente, la precisione dello strumento è in stretta relazione con la precisione delle resistenze campione in esso contenute, con la resistenza dei collegamenti e di vari contatti la quale, se non è minima, può falsare le letture. Di rilevante importanza è anche la sensibilità dello strumento indicatore, nonchè l'ammontare della tensione fornita dalla batteria.

DESCRIZIONE del CIRCUITO

La **figura 2** illustra il circuito del ponte completo: come si nota, la tensione della batteria *BT*, 4,5 volt, viene applicata nei punti *A* e *B* in serie ad un interruttore (*IP1*). Poichè la tensione della pila è necessaria soltanto nei momenti in cui si effettuano le letture, non occorre che sia sempre applicata al circuito. Solo in tali istanti dunque, si esercita una leggera pressione su detto interruttore che è stato scelto perciò del tipo a pulsante, con molla di ritorno.

I due bracci di rapporto, *Ra* ed *Rb*, sono costituiti da cinque resistenze complessivamente, commutabili in sei diverse combinazioni ad opera del commutatore a sei posizioni e due vie. Seguendo la rotazione del cursore dalla posizione 1 alla posizione 6 (contemporaneamente nelle due sezioni), avremo i valori ed i rapporti, di cui alla tabellina della pagina seguente, corrispondenti al fattore di moltiplicazione del valore di *Rs*, col quale si otterrà il valore esatto di *Rx*.

I due terminali contrassegnati *Rx*, come si è detto, servono per il collegamento della resistenza da misurare; mentre i due contrassegnati *Rs* servono per il collegamento delle resistenze standard che è opportuno contenere in una custodia separata.

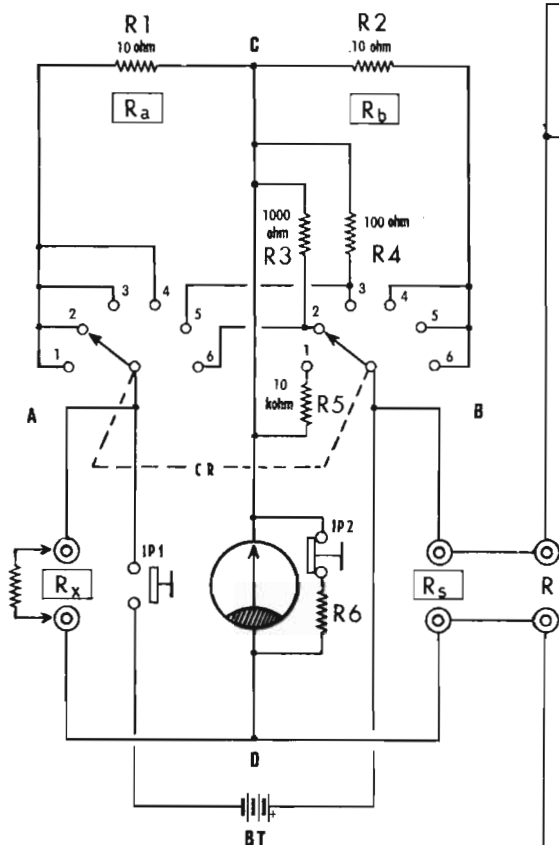
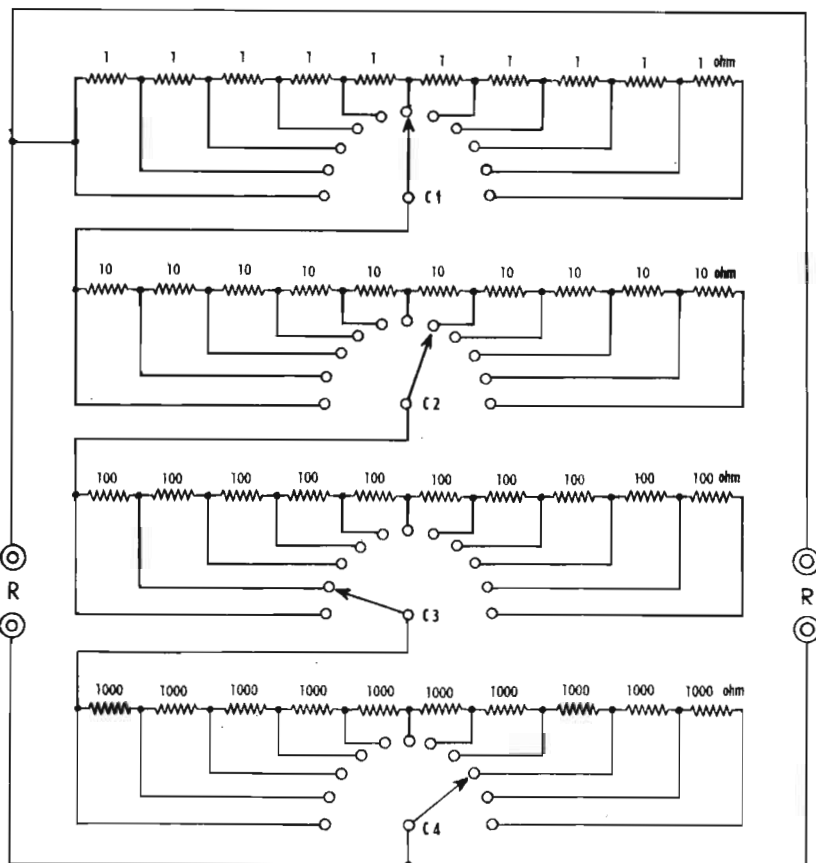



Fig. 2 — Circuito completo.

2 resistenze a filo, da 10 ohm, 0,1 % - R1-R2 - ICE mod. 4
1 resistenza a filo, da 1.000 ohm, 0,1 % - R3 - ICE mod. 4
1 resistenza a filo, da 100 ohm, 0,1 % - R4 - ICE mod. 4
1 resistenza a filo, da 10.000 ohm, 0,1 % - R5 - ICE mod. 4
1 resistenza chimica, da 200 ohm circa - R6
10 resistenze a filo, da 1 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
10 resistenze a filo, da 10 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
10 resistenze a filo, da 100 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
10 resistenze a filo, da 1.000 ohm, 0,1 % - ICE mod. 4
1 commutatore a 2 vie e 6 posizioni - CR - Romagnoli mod. F 305
4 commutatori ad 1 via e 11 posizioni - C1-C2-C3-C4 - Romagnoli F 381
1 microamperometro 25-0-25 (zero centrale) - ICE mod. Cristal B strumento con resistenza interna non superiore a 500 ohm
1 interruttore a pulsante (normalmente aperto) - IP1-GBC mod. G/1203
1 interruttore a pulsante (normalmente chiuso) - IP2-GBC mod. G/1204
1 batteria a secco, 4,5 volt - BT - con squadretta di fissaggio
8 morsetti di collegamento, isolati - Romagnoli mod. D 421
5 manopole con tacca di riferimento - GBC mod. F/58
3 metri di filo da 3 mm argentato, semirigido, per collegamenti
2 cassette metalliche, con pannello, come da testo.

Le resistenze standard o campione sono complessivamente 40: per la relativa selezione vi sono quattro commutatori. Come è visibile dallo schema, dette resistenze si presentano in quattro serie, aventi lo stesso valore in ogni assieme, e precisamente 1 ohm, 10 ohm, 100 ohm e 1.000 ohm. Essendo ogni resistenza collegata in serie, il commutatore relativo potrà scegliere nel primo gruppo, valori compresi tra 0 e 10 ohm, con scatti di 1 ohm; nel secondo, valori compresi tra 0 e 100 ohm, con scatti di 10 ohm; nel terzo, valori compresi tra 0 e 1.000 ohm, con scatti di 100 ohm, e nel quarto valori compresi tra 0 e 10.000 ohm, con scatti di 1.000 ohm. I quattro gruppi sono a loro volta in serie tra loro per cui, ai capi dei morsetti, a seconda delle reciproche posizioni dei commutatori, è possibile formare tutti i valori compresi tra 1 ohm e 11.110 ohm. Una volta collegata la scatola delle resistenze (chiamata «a decadi») ai morsetti *Rs* del ponte, sarà possibile ottenere il bilanciamento del ponte per tutti i valori di *Rx* compresi tra un minimo di 1/1.000 di ohm e 10/1.000 di ohm (di millesimo in millesimo, senza valori intermedi) in posizione 1, fino ad un massimo di 11.110 ohm × 100 = 1.111.000 ohm, in posizione 6.

Rapporti e fattori di moltiplicazione relativi

Posizione	*Ra*	*Rb*	Rapporto	Fattore moltiplicazione
1	10 ohm	10.000 ohm	1 : 1.000	× 0,001
2	10 ohm	1.000 ohm	1 : 100	× 0,01
3	10 ohm	100 ohm	1 : 10	× 0.1
5	10 ohm	10 ohm	1 : 1	× 1
4	100 ohm	10 ohm	10 : 1	× 10
6	1.000 ohm	10 ohm	100 : 1	× 100

Il galvanometro o microamperometro, collegato tra i punti *C* e *D*, è del tipo a zero centrale, e può essere scelto con una sensibilità totale compresa tra 10 e 500 microampère.

Come si è detto, le sue caratteristiche influiscono notevolmente sulla precisione dell'intero strumento, comunque un galvanometro che abbia una portata di 50 microampère (25 - 0 - 25) sarà senz'altro sufficiente.

Come vedremo tra breve, allorchè si effettua la misura di una resistenza il cui valore è completamente ignoto, le notevoli differenze di tensione tra i punti *C* e *D* in mancanza del bilanciamento, potrebbero danneggiare lo strumento allorchè viene azionato il pulsante *IP1* in serie alla batteria. Per tale motivo è collegata in parallelo allo strumento stesso, tramite un interruttore (*IP2*), la resisten-

za $R6$. Detta resistenza agisce da « shunt », e diminuisce notevolmente la sensibilità. Naturalmente, allorchè l'equilibrio è stato quasi raggiunto, quest'ultimo interruttore (che è normalmente chiuso) viene aperto, e lo strumento acquista tutta la sua sensibilità. Per comodità d'uso, e per sicurezza, anche questo interruttore è del tipo a pulsante con molla di richiamo, ma agisce in ciò in senso inverso rispetto al comportamento di *IP1*.

CRITERI COSTRUTTIVI

L'intero strumento viene realizzato in due cassette metalliche separate; in tal modo la scatola contenente le quattro decadi potrà essere utilizzata anche a parte, per altri impieghi, ove sia necessario disporre temporaneamente di resistenze di valore noto e preciso. Le scatole metalliche contenenti sia il ponte propriamente detto che le resistenze a decadi, avranno le dimensioni esterne di cm 22 di altezza, per 16 di larghezza e per 8 cm di profondità.

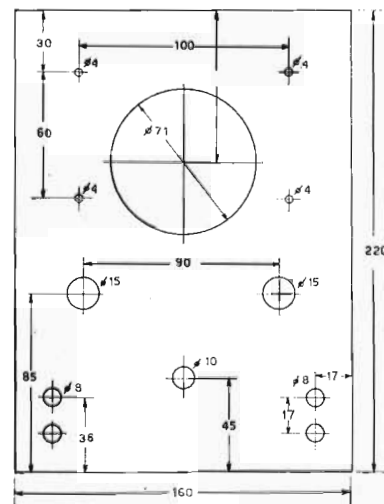
La parte frontale o superiore della cassetta del ponte è costituita da un pannello dello spessore di 2 mm. Su di esso vengono montati il commutatore delle portate (rapporti), lo strumento di controllo, il pulsante di lettura, il pulsante dello « shunt » di protezione, i morsetti di collegamento della resistenza da misurare (*Rx*) ed i morsetti di collegamento della cassetta di decadi (*Rs*). All'interno invece verranno alloggiate tutte le resistenze che costituiscono i rapporti, nonchè la batteria ed i vari collegamenti. Il pannello della cassetta-decadi sarà dello stesso spessore e su di esso saranno montati i quattro commutatori C_1, C_2, C_3 e C_4.

Tutti i commutatori devono avere ottimi contatti a spazzola, e devono essere del tipo illustrato. Le spazzole costituenti il contatto mobile devono esercitare una notevole pressione sui contatti fissi, in quanto una resistenza di pochi decimillesimi di ohm in uno dei contatti mobili può pregiudicare notevolmente la precisione dello strumento.

Per il medesimo motivo i collegamenti devono essere effettuati con filo di rame rigido ed argentato, (ricoperto poi da tubetto sterlingato) avente una sezione di almeno 3 mm di diametro. Le saldature devono essere eseguite con la massima cura, ed i collegamenti inoltre devono avere la minima lunghezza possibile, sia pure a scapito dell'estetica del cablaggio.

Le resistenze possono essere acquistate presso una fabbrica di strumenti di misura o presso qualche fornitore specializzato; devono essere tutte avvolte a filo, e, possibilmente, devono essere « anti-induttive », ossia avvolte ripiegando il filo da avvolgere in due parti, ed avvolgendo contemporaneamente i due capi. In tal modo, tutte le eventuali correnti che percorrono l'avvolgimento creano campi magnetici opposti che si elidono a vicenda. Questo particolare non è necessario per questo ponte, ma per gli altri scopi in cui dette resistenze potranno essere impiegate.

Anche il collegamento tra la cassetta di decadi ed il ponte deve essere effettuato con conduttore di notevole sezione; la migliore soluzione consiste nell'adottare due piattine di ottone argentato da 5×10 mm di sezione, provviste di fori per il fissaggio ai morsetti *Rs* ed ai morsetti *Rx*.

Fig. 3 — Piano di foratura del pannello del ponte. Le quote sono espresse in millimetri.

Si eseguirà la foratura dei due pannelli secondo le quote indicate alle **figure 3** e **4**. Mentre è economico e comodo che le cassette siano in lamiera di ferro da 1 mm di spessore, i pannelli è utile siano in alluminio. Verniciatura e diciture dipendono dai gusti del costruttore: solitamente si ricorre ad una verniciatura alla nitrocellulosa (opaca o lucida) con diciture pantografate, oppure a stampa riportata su targhette protette da celluloide.

Nel collocamento e nel fissaggio dei diversi componenti, si lasceranno per ultime le resistenze e lo strumento. Le resistenze saranno sostenute da un lato, e spesso anche dai due lati, dalle linguette di collegamento dei commutatori e risulteranno così prossime ai contatti nonchè stabilmente fissate. Lo strumento sarà cortocircuitato sempre tra i suoi morsetti a mezzo di un qualsiasi collegamento volante che sarà tolto solo ad apparecchiatura finita, allorchè saranno in circuito *IP2* ed *R6*.

I collegamenti — come si è già detto — usufruiscono di filo di rame argentato, semirigido. È comodo adottare la tecnica del collegamento sterlingato: saldato un lato del filo al punto in cui esso deve essere collegato, si infila sul filo stesso il tubetto sterlingato adatto al suo dia-

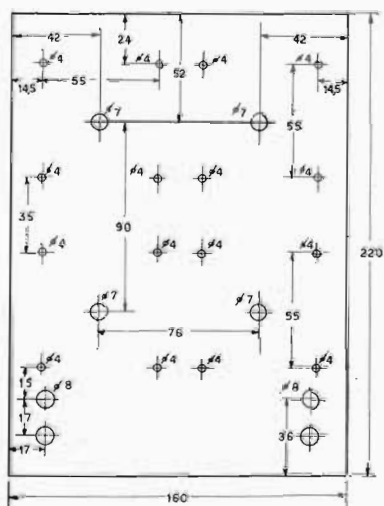
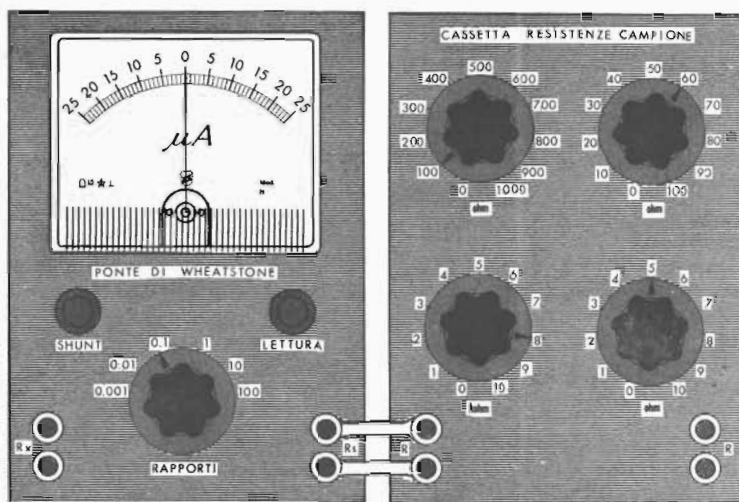
Fig. 4 — Piano di foratura del pannello della cassetta di resistenze campione. Le quote sono espresse in millimetri.

metro. Si misura sommariamente il percorso che quel collegamento deve compiere e si tronca filo e tubetto per la opportuna lunghezza: il tubetto sarà poi leggermente accorciato per consentire l'operazione di saldatura dell'altro capo del filo.

Fig. 5 — Tipo di commutatore da adottare per C1 - C2 - C3 - C4.

Fig. 6 — Assieme dello strumento completo. I commutatori sono predisposti in una posizione di lettura R_X corrispondente a quella indicata nello schema elettrico (figura 2), vale a dire 8165: però, mentre sullo schema elettrico il commutatore dei rapporti è in seconda posizione, qui è in terza, e si ha quindi, nel primo caso 8165 × 0,01 = 81,65 ohm e nel presente caso 8165 × 0,1 = 816,5 ohm.

I collegamenti non sono molti ed è difficile sbagliare: a buon conto, chi fosse ai suoi primissimi montaggi può trovare molto pratico segnare in qualche modo sullo schema di figura 2 i collegamenti mano a mano che gli stessi vengono effettuati.

Si consiglia un fissaggio ben fermo tra manopole e alberi di comando dei commutatori: all'uopo sarà bene praticare una profonda tacca, con una lima, sull'albero stesso. In detta tacca dovrà introdursi la vite di arresto della manopola.

ISTRUZIONE d'USO

Se il montaggio ed il cablaggio dell'intero strumento sono stati eseguiti con i necessari accorgimenti, non occorre alcuna messa a punto prima dell'uso. L'apparecchio è infatti pronto per eseguire misure di resistenze comprese entro le sue portate. Esso si presta a due impieghi fondamentali: la misura di resistenze già esistenti, con precisione che può raggiungere lo 0,1%, e la costruzione di resistenze « tarate ». Il secondo impiego costituisce lo scopo principale per il quale suggeriamo la costruzione.

In ogni caso la misura deve essere effettuata come segue: la resistenza di valore incognito da misurare deve essere collegata tra i morsetti contrassegnati « *Rx* », facendo attenzione che i contatti siano perfettamente puliti, ed assicurati dalla pressione massima. Si inserisce anche la cassetta di decadi ai relativi morsetti (con i medesimi accorgimenti onde assicurare un perfetto contatto).

Il commutatore di portata (selettore dei rapporti) deve essere messo su una posizione qualsiasi, e dopo aver effettuato le manovre che seguono, deve essere messo alternativamente sulle altre portate disponibili ripetendo ogni operazione fino a che si ottiene la portata esatta. Naturalmente, nel caso che si debbano misurare resistenze preesistenti — il cui valore ohmico approssimativo sia già noto — è possibile predisporre il ponte su tale valore impiegando così un tempo notevolmente più ridotto per ottenere il bilanciamento e per conoscere quindi il valore esatto.

Tenendo premuto il pulsante di lettura, si ruotano una alla volta le quattro manopole delle decadi — iniziando da quella delle « migliaia » — finchè l'indice dello strumento dalla posizione laterale si porta in quella centrale, cioè in prossimità dello zero. Se lo spostamento di detto indice è verso destra, occorrerà aumentare il valore di *Rs*, e viceversa.

Una volta ottenuto l'azzeramento approssimativo, si elimina la resistenza di protezione (*R6*) premendo il pulsante « shunt » e cioè *IP2*, e premendo ancora il pulsante di lettura per un istante, dopo ogni variazione, si agisce prima sulla manopola delle unità e, se non basta, si ritocca il valore delle decine, fino ad avere l'indicazione di zero perfetto allorchè si preme il pulsante « lettura ». In tal modo il ponte è bilanciato, ed il valore di *Rx* sarà dato dalla indicazione delle quattro manopole delle decadi, moltiplicato per il fattore di moltiplicazione indicato dal commutatore di portata.

Ad esempio, con una indicazione (come da figura 2) da parte delle decadi di 8 migliaia, 1 centinaio, 6 decine e 5 unità (8.165), il valore di *Rx* sarà di 816.500 ohm con rapporto « × 100 »; 81650 ohm con rapporto « × 10 »; 8.165 ohm con rapporto « × 1 »; 816,5 ohm con rapporto « × 0,1 »; 81,65 ohm con rapporto « × 0,01 » e infine 8,165 ohm con rapporto « × 0,001 ».

Nel caso che si debba invece costruire una resistenza, è necessario predisporre il ponte sul valore desiderato, agendo sia sulle decadi che sul commutatore di portata, dopo di che si taglierà il filo col quale la resistenza deve essere avvolta ad una lunghezza approssimativamente esatta e leggermente abbondante. Ciò è possibile in quanto le fabbriche di tali conduttori per resistenze forniscono i dati di resistenza specifica in ohm per metro, per ogni tipo di conduttore. Una volta applicati ai morsetti *Rx* i terminali di tale filo, si effettua la lettura e, staccandolo ogni volta da un solo terminale, lo si accorcia gradatamente, tagliando quantità sempre più piccole, fino ad avere l'azzeramento perfetto. È indispensabile prestare la massima attenzione a non superare il punto critico negli accorciamenti, in quanto se l'accorciamento è eccessivo, non è più possibile effettuare una aggiunta. Questo naturalmente nel caso in cui si debbano costruire resistenze di grande precisione da impiegare negli strumenti di misura.

Alcune prove effettuate con resistenze qualsiasi, anche chimiche, saranno opportune ed utili per acquistare l'esperienza sufficiente ad utilizzare lo strumento nel modo dovuto.

Saranno argomento di questo Corso, tra l'altro: **i transistori** questi nuovi, rivoluzionari organi delle più recenti realizzazioni dell'elettronica. L'impiego dei transistori si estende rapidamente: sono già numerosi i ricevitori e gli amplificatori in commercio che ne sono dotati e il loro numero è indubbiamente destinato ad accrescersi perchè i transistori sostituiranno con ampia percentuale, le valvole termoioniche. E' perciò necessario che il radiotecnico li conosca, sappia applicarli, si renda conto di quanto e di come differiscano dalle valvole, sia aggiornato nei tipi e nelle caratteristiche. Saranno descritti numerosi montaggi di ricevitori, trasmettitori e dispositivi elettronici da realizzare con l'impiego di transistori.

La modulazione di frequenza o F.M., come viene correntemente definita, è il sistema di trasmissione radiofonica che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi a quello classico della modulazione di ampiezza. Che cosa sia la F.M., quali caratteristiche presenti, come funzionino e si realizzino i ricevitori per F.M. sarà ampiamente detto durante lo svolgimento del Corso. Oramai anche i ricevitori più economici sono caratterizzati dalla possibilità di ricezione della modulazione di frequenza: il radioamatore, e più ancora il radioriparatore, devono perciò rendersi pienamente consci della tecnica relativa, degli schemi, e dei particolari circuiti.

Un'altra tecnica in piena evoluzione è quella dell'**Alta Fedeltà.** Le esigenze per ciò che riguarda la fedeltà di riproduzione sonora sono notevolmente aumentate. Il materiale relativo alla sezione di Bassa Frequenza di molti ricevitori nonchè quello di appositi amplificatori, rivelatori e riproduttori si è andato e si va vieppiù affinando e perfezionando; ne risultano nuove tecniche, nuove disposizioni circuitali, nuovi accorgimenti che è duopo conoscere. Citiamo in proposito **la registrazione magnetica** che ha visto un rapido espandersi dei magnetofoni, cui fa riscontro, nella battaglia tra il nastro e il disco, il microsolco. Ora, entrambi hanno affinata la loro tecnica con la **riproduzione stereofonica.**

In questi ultimi tempi hanno fatto la loro comparsa ricevitori e amplificatori montati secondo il sistema dei **circuiti stampati.** Si tratta di pannelli caratterizzati dal fatto che i collegamenti necessari all'unione dei vari componenti sono già esistenti sul pannello stesso, sotto forma di un conduttore che viene ricavato seguendo alcune fasi della tecnica di stampa. E' evidente che un tale sistema — adottato anche parzialmente, e cioè in sole sezioni di un complesso — reca riduzioni di costo notevoli se l'apparecchio viene prodotto in grande serie. E' intuitivo anche che il tecnico debba d'ora in poi sapere quali sono i punti delicati e come ci si debba comportare nei confronti di questo nuovo metodo realizzativo. Il nostro Corso, al momento opportuno, affronta l'argomento e lo illustra nei suoi più minuti dettagli.

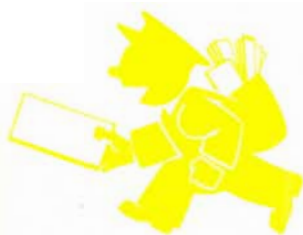
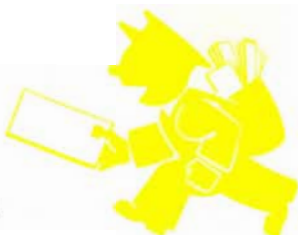
Una tra le più allettanti attività in campo radio è quella della **trasmissione dilettantistica.** Chiunque può ottenere la licenza di trasmissione previo un facile esame su argomenti e materia che il nostro Corso ampiamente espone ma esso, in proposito, non si limita alla preparazione per il superamento dell'esame: riporta descrizioni di trasmettitori e ricevitori appositi da realizzarsi, riporta le norme che regolano l'attività, le caratteristiche dei materiali idonei, indirizzi, prefissi, abbreviazioni, ecc. Va ricordato che questa della trasmissione, cioè delle comunicazioni a distanza tra amatori di tutto il mondo, è la forma più suggestiva e appassionante di attività radiotecnica; è proprio tale attività che assai spesso porta alla formazione dei più abili tecnici, come ampiamente l'esperienza dimostra. E' pertanto un passatempo del più alto valore istruttivo che molto spesso contribuisce anche al nascere di amicizie e relazioni con radioamatori di tutti i continenti.

Una forma particolare di detta attività può considerarsi poi il **radiocomando.** Anche in questo ramo sono numerosi gli appassionati. L'argomento non sarà quindi dimenticato nè per chi ha pratica di questa tecnica nè per chi ad essa vuole dedicarsi.

Ovviamente, un'importanza notevole riveste il settore degli strumenti e delle **apparecchiature di misura.** Senza di esse ogni attività e ogni nozione si può dire risulti vana e monca, nel nostro campo: il progettista quanto l'amatore, il riparatore quanto l'installatore e lo stesso commerciante evoluto, hanno necessità di eseguire controlli di efficienza, misure di rendimento, accertamenti, rilievo e ricerca di guasti, tarature, messe a punto ecc. e tutto, è noto, si svolge con l'ausilio degli apparecchi di misura. Naturalmente, per ogni categoria vi sono gli strumenti più indicati e noi di essi forniremo i dati costruttivi, la tecnica di impiego nonchè le norme d'uso sia per i singoli tipi, sia per i diversi impieghi. Tratteremo così della **taratura** e della **ricerca dei guasti**.

E' noto che i laboratori di ricerca applicata più progrediti e più famosi nel mondo sono quelli delle grandiose industrie statunitensi. Dall'U.S.A. ci provengono le notizie delle scoperte più sensazionali in campo radio e tutti quei nuovi dati, quelle norme e quegli schemi che alla scoperta fanno seguito allorchè questa passa alla fase di pratica attuazione e sfruttamento. Orbene, mentre può essere della più grande utilità per un tecnico conoscere la lingua inglese e seguire direttamente sulle riviste americane il progresso, non è detto che chi tale lingua non conosce, non possa sufficientemente interpretare schemi e brevi norme, solo che abbia la possibilità di ricorrere ad un **vocabolario tecnico dall'inglese all'italiano**. Pubblicheremo perciò, su ogni fascicolo, due pagine di vocaboli e termini tecnici con la relativa traduzione e siamo certi che ciò potrà più di una volta tornare utile anche a chi già conosce la lingua inglese.

E veniamo, in ultimo, ad un argomento che certamente il lettore si sarà meravigliato di non aver visto accennato prima: **la televisione.** A questo proposito il nostro programma è quanto mai impegnativo: esso è tale che non ci è consentita per il momento alcuna indiscrezione, soprattutto perchè sulla televisione serbiamo al lettore che ci vorrà seguire per qualche mese una importante e, siamo certi, graditissima sorpresa.

IMPORTANTE! :: se vi interessano i prossimi fascicoli datene subito avviso al vostro giornalaio!

Per un anno, a domicilio, un completo Corso che vi costa un decimo di tutti gli altri Corsi

Vi formerete un volume di ben 1248 pagine: un prezioso manuale-enciclopedia di elettronica

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc..

HEATHKIT

Capacity Meter KIT

MODELLO

CM-1

REQUISITI

CARATTERISTICHE

Scale	0 ÷ 100 pF; 1000 pF; 0,01 μF e 0,1 μF fondo scala
Tubi	6BX7GT Oscillatore 6X5GT Rettificatore OA2 Stabilizzatore
Strumento indicatore	Di facile apprezzamento, scala lineare di 112 mm., sensibilità 50 microampère fondo scala
Taratura dei Condensatori	± 1% per le scale 100 e 1000 pF ±2 % per le scale 0,01 e 0,1 μF
Alimentazione	105 ÷ 125 Volt c.a.; 50 ÷ 60 Hz; 25 Watt
Dimensioni	Altezza 19, larghezza 11, profondità 10 cm.
Peso netto	2,3 Kg. circa

- Lettura diretta della capacità su una scala di 112 mm. di uno strumento con sensibilità di 50 microampere.
- Quattro scale: 0-100 pF; 0÷1000 pF; 0-0,01 μF e 0,1 μF.
- La capacità residua è minore di 1 pF e non è influenzata dalla capacità delle mani dell'operatore.
- Una sola taratura per tutte le scale.
- Alimentazione dalla rete e stabilizzazione della tensione rettificata.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

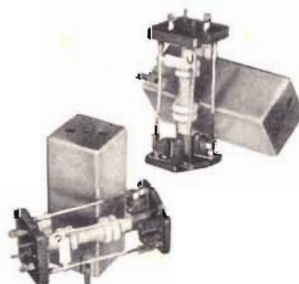
LARIR soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER:
LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771
EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

Direzione Centrale
V.le Brenta, 29 - MILANO

CONDENSATORI VARIABILI

Perfetta esecuzione, caratterizzata da elevata precisione di taratura, ottima stabilità meccanica-elettrica, minime perdite ed effetto microfonico trascurabile. Vasta scelta tra diversi tipi, singoli, doppi, tripli, a sezioni speciali.

TRASFORMATORI MEDIA F.

Costanza di taratura e rendimento eliminano una delle principali cause d'instabilità dei ricevitori. Valori di 467 kHz, 10,7 MHz, 5,5 MHz per FI « intercarrier » e 4,6 MHz per doppio cambiamento di frequenza.

GRUPPI ALTA FREQUENZA

La più alta efficienza con sicurezza e stabilità massime di funzionamento. Nei numerosi modelli prodotti si hanno Gruppi e sintonizzatori a più gamme, per M.d.F., M.d.A., OC, con convertitrice, con preamplificazione, ecc.

Dal 1931 sui mercati di tutto il mondo...!

Radioricevitori - Amplificatori - Televisori - Registratori magnetici - Altoparlanti - Microfoni.

GELOSO

TUTTE LE PARTI STACCATE PER L'ELETTRONICA

Richiedete alla GELOSO S.p.A. - Viale Brenta, 29 - Milano
il Catalogo Generale Apparecchi, che sarà inviato gratuitamente.